

Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava

Fakulta bezpečnostního inženýrství

Katedra ochrany obyvatelstva

**Stanovení kritických technologických rizik
v podniku**

Student: Bc. Marie Nováková

Vedoucí diplomové práce: doc. Dr. Ing. Aleš Bernatík

Studijní obor: Bezpečnostní plánování

Datum zadání diplomové práce: 16. 6. 2014

Termín odevzdání diplomové práce: 17. 4. 2015

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta bezpečnostního inženýrství
Katedra ochrany obyvatelstva

Zadání diplomové práce

Student: **Marie Nováková**
Studijní program: N3908 Požární ochrana a průmyslová bezpečnost
Studijní obor: 3908T007 Bezpečnostní plánování
Téma: Stanovení kritických technologických rizik v podniku
Determination of Critical Technological Risks in an Enterprise

Zásady pro vypracování:

Cíl práce:

Kvantifikace technologických rizik ve vybraném podniku pomocí aplikace metod analýzy rizik a stanovení společenské přijatelnosti rizik.

Charakteristika práce:

Charakteristika vybraného podniku.

Rozdělení provozu, výběr zdrojů rizik a selekce jednotek.

Posouzení a porovnání výsledků analýzy rizik pomocí zvolených metod.

Vizualizace výsledků modelování následků potenciálních havárií.

Návrh opatření a postupů na snížení technologického rizika vybraných zařízení.

Seznam doporučené odborné literatury:

Bernatík A. Prevence závažných havárií I. a II., SPBI Ostrava, 2006

Fire and Explosion index. Hazard classification guide, AIChE New York

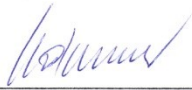
Purple Book CPR 18E (1999). Guidelines for Quantitative Risk Assessment, The Hague

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí diplomové práce: **doc. Dr. Ing. Aleš Bernatík**

Datum zadání: 16.06.2014

Datum odevzdání: 17.04.2015


doc. Ing. Vilém Adamec, Ph.D.
vedoucí katedry




prof. Ing. Pavel Poledňák, Ph.D.
děkan fakulty

ANOTACE

NOVÁKOVÁ, Marie. *Stanovení kritických technologických rizik v podniku*. Diplomová práce, Ostrava: VŠB – Technická Univerzita Ostrava, Fakulta bezpečnostního inženýrství, 2015, 79 stran.

Diplomová práce se zaměřuje na kvantifikaci technologických rizik ve vybraném podniku. V teoretické části je vymezeno názvosloví a celá problematika je zasazena do aktuálního právního rámce. Dále práce podrobně popisuje metody, které byly na vybraný podnik aplikovány. Posouzení a porovnání výsledků provedené analýzy rizik v praktické části je podpořeno vizualizací, ve které jsou promítnuty následky potenciálních havárií. Cílem práce je určení technologických rizik v podniku, kdy výsledky analýzy rizik mohou sloužit jako vzor pro podobné průmyslové podniky.

Klíčová slova: analýza rizik, modelování následků havárií, technologická rizika, posouzení rizika, metody analýzy rizik

ANNOTATION

NOVÁKOVÁ, Marie. *Determination of critical technological risks in an enterprise*. Thesis, Ostrava: VŠB – Technická Univerzita Ostrava, Fakulta bezpečnostního inženýrství, 2015, 79 pages.

The diploma thesis focus on the quantification of technological risks in selected company. The theoretical part defines terminology and the whole issue is framed within the current legal framework. This part also describes in details the methods that have been applied in the study. The obtained results were assessed and compared using supported visuals which are based on the consequences of potential accidents. The aim of the study is to determine technological risks, this results of risk analysis can be used as an exemplar for similar industrial companies.

Keywords: risk analysis, modeling accidents consequences, technological risks, risk assessment, risk analysis methods

Místopřísežné prohlášení

Místopřísežně prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci vypracovala samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedla jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpala.

V Lysé nad Labem, 13. 4. 2015

Jméno a příjmení

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- jsem byl/a seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů;
- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby ¹⁾;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava (dále jen VŠB – TUO), dostupná k prezenčnímu nahlédnutí;
- beru na vědomí, že VŠB – TUO má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě
- diplomovou/bakalářskou práci užít v souladu s § 35 odst. 3 ²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 1 autorského zákona má právo VŠB – TUO na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem VŠB – TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB – TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce
- využito softwaru poskytnutého VŠB – TUO nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Jméno, příjmení

Adresa

Dne: _____

Podpis: _____

1) zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevýdělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlázení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

2) zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacímu zařízení (školní dílo).

3) zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst.

3). Odpírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlídně k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce

OBSAH

Úvod.....	1
1 Literární rešerše.....	3
2 Současný stav	5
2.1 Pojmy	5
2.2 Technologické riziko.....	7
2.3 Legislativní rámec	8
3 Metody analýzy rizik.....	10
3.1 Kvalitativní.....	11
3.2 Kvantitativní.....	12
3.3 Deterministické a pravděpodobnostní.....	13
4 Použité metody.....	14
4.1 Metoda výběru	14
4.2 Fire and Explosion Index	16
4.3 IAEA-TECDOC-727.....	17
4.4 ALOHA.....	19
4.5 Shrnutí a diskuse	20
5 Popis podniku a okolí.....	22
5.1 Podnik	22
5.2 Okolí.....	23
6 Kvantifikace kritických technologických rizik	25
6.1 Metoda výběru	26
6.2 Fire and Explosion Index	30
6.3 IAEA-TECDOC-727.....	34
6.4 Shrnutí metod.....	43
7 Doporučený postup analýzy rizik.....	45

Závěr	51
Zdroje a literatura.....	53
Seznam obrázků.....	55
Seznam tabulek.....	55
Seznam příloh	56

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

BLEVE	Výbuch expandujících par vroucí kapaliny
ČR	Česká republika
EU	Evropská unie
F&EI	Fire and Explosion Index
HZS	Hasičský záchranný sbor
KS	Krizový stav
NL	Nebezpečná látka
QRA	Kvantitativní analýza rizik
VCE	Exploze mraku par

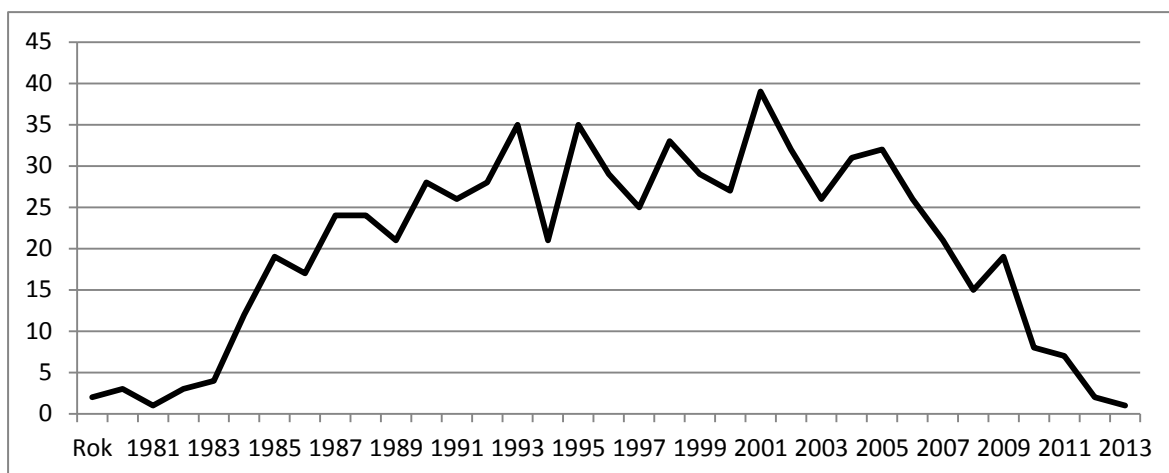
ÚVOD

Vlivem progresivního rozvoje sekundárního sektoru, tj. sektoru výroby a průmyslu, roste množství průmyslových podniků s cílem uspokojit stoupající poptávku a především s vidinou zisku. Je ale preference ekonomických zájmů to jediné a správné, na co by se měly průmyslové podniky zaměřovat? V současnosti nabývá akcelerační proměna zájmů civilizace nebývalých rozměrů. Není tomu tak dávno, kdy dopady průmyslových činností na lidské zdraví či přírodu byly značně podceňovány. Závažné havárie v průmyslových podnicích mají kromě již zmíněného také ekonomický dopad. Nejen proto je nutné realizovat zvyšování bezpečnosti průmyslových podniků ve smyslu prevence závažných havárií.

Není nutné zabíhat do příliš daleké historie, abychom se přesvědčili o nutnosti redukce technologických rizik. Stačí zmínit Seveso (Itálie), Baia Mare a Baia Borsa (Rumunsko), Three Mile Island (Pensylvánie, USA) a především Černobyl (Ukrajina). Neexistuje technická porucha, které by nešlo vhodným systematickým přístupem zamezit, nebo alespoň zmírnit její následky. Je však nezbytné přistupovat k managementu rizik zodpovědně a celý jeho proces stavět na vyšší příčce než je slepá touha po maximalizaci zisku. Je zřejmé, že důsledná kvantifikace technologických rizik je základním stavebním pilířem, jehož vrchol směřuje k výběru optimálních preventivních opatření pro redukci rizika.

Na následujícím grafu je zřetelný kolísavý trend počtu závažných havárií v EU. Je možné tvrdit, že v posledních letech počet závažných havárií v EU hlášených v databázi eMARS takto výrazně klesá z důvodu zavedení a dodržování nových legislativních opatření k prevenci závažných havárií.

Graf 1: Počet závažných havárií v EU



Zdroj: <https://emars.jrc.ec.europa.eu/>

Je ovšem nutné brát v úvahu i fakt, že počet průmyslových podniků neustále narůstá, takže klesající trend odráží skutečnost, že nejen nové, ale i stávající podniky svědomitě aplikují legislativně stanovená preventivní opatření.

„Pán přírody - člověk objevuje, že již není pánem technických změn, které přírodě vnutil. Etika strachu není tou etikou, která v činnosti brání, ale etikou, jež ji podněcuje, ovšem za předpokladu nové formy odpovědnosti, starosti o budoucí generace, která se opírá o zdrženlivost, bdělost a odmítá přehánění. Ve světě, v němž vědecká racionalita převažuje, nás princip obezřetnosti vede k tomu, abychom brali v úvahu nezaručení vědeckých poznatků samotných. To neznamena, že se máme vzdát inovační činnosti, nebo snad dokonce odmítnout dobrodruží, které technické směry mohou přinést. Jenom se musíme naučit lépe počítat s nejistotami v rozhodnutích, jež vedou k uskutečnění technických změn.“ Hans Jonas

Hlavním cílem této práce je kvantifikace technologických rizik ve vybraném podniku pomocí aplikace metod analýzy rizik. Vlastní přínos práce souvisí s komparací jednotlivých metod a především jejich výstupů. Práce přináší také doporučení pro aplikaci vybraných metod v jednotlivých krocích analýzy a následný návrh zlepšení technologické bezpečnosti, který je aplikovatelný na podniky podobného typu.

1 LITERÁRNÍ REŠERŠE

BARTLOVÁ, I. a PEŠÁK, M. *Analýza nebezpečí a prevence průmyslových havárií II: analýza rizik a připravenost na průmyslové havárie*. 1. vyd. V Ostravě: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2003. 138 s. SPBI Spektrum. Červená řada; 33. ISBN 80-86634-30-2.

Publikace podrobně rozebírá zákon o prevenci závažných havárií (ve znění 333/1999 Sb.) v souvislosti s aplikací direktivy SEVESO II do české legislativy. Dále se publikace věnuje metodám pro stanovení a hodnocení následků průmyslových havárií a vybrané metody jsou aplikovány v případové studii. Publikace aplikuje na modelový příklad počítačové programy ROZEX, ALOHA, WHAZAN, EFFECT a TerEx. Z kvantitativních metod využívá IAEA-TECDOC-727 a HAZOP.

BERNATIK, A. a Libisova, M., *Loss prevention in heavy industry: risk assessment of large gasholders: Journal of Loss Prevention in the Process Industrie*. 2004.

Článek shrnuje výsledky kvantitativního hodnocení rizik provedených ve vybraných průmyslových podnicích s plynojemy. Poukazuje na nadměrné množství NL, které s provozem souvisí a odkazuje na direktivu SEVESO II. Článek pracuje s kvantitativními metodami jako je metoda výběru podle Purple book, IAEA-TECDOC-727, studií HAZOP a používá pro modelování následků závažné havárie program ALOHA.

Ochrana obyvatelstva - Nebezpečné látky 2015: Sborník příspěvků z koference. 2015. vyd. Ostrava: SPBI. ISBN 987-80-7385-158-3.

Z koference Ochrany obyvatelstva a Nebezpečných látek 2015 v Ostravě byl mimo jiné velmi aktuální a přínosný příspěvek pana Ing. Pavla Forinta, Ph.D. z Ministerstva životního prostředí. Příspěvek pojednává o nové legislativě v prevenci závažných havárií, konkrétně o aplikaci směrnice SEVESO III do českého právního rámce v podobě nového zákona o prevenci závažných havárií. Článek věnovaný této problematice vychází z aktuálního právního stavu a komparuje aktuálně platné SEVESO II a novým SEVESO III. Následně změny komentuje a vysvětluje.

BERNATÍK, Aleš. *Studie hodnocení podlimitních zdrojů rizik*. Ostrava, 2006.

Signatura: 200803319. Habilitační práce. Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava.

Habilitační práce se věnuje analýze rizik u podniků, které nejsou podle zákona o prevenci závažných havárií zařazené do skupiny A nebo B. Práce pro tyto podlimitní zdroje rizik navrhuje metodický postup hodnocení rizik. Z kvantitativních metod analýzy rizik práce aplikuje metodu výběru, IAEA-TECDOC-727, Fire and Explosion Index, Chemical Exposure Index a program pro modelaci následků havárií ALOHA. Mimo jiné svou pozornost práce věnuje i hodnocení dopadů na životní prostředí.

Zákon o prevenci závažných havárií. In: 59/2006.

Tento zákon je stěžejním legislativním dokumentem v ČR v problematice závažných havárií a jejich prevence. Zákon vymezuje pojmosloví, podmínky pro zařazení objektu do skupiny A nebo B, povinnosti provozovatele podniku. Dále se věnuje havarijnímu plánování, úkolům veřejnosti a státní správě.

2 SOUČASNÝ STAV

Kapitola ve stručnosti zavádí základní pojmosloví, které je nezbytné ke správnému pochopení problematiky. Dále vymezuje pojem technologické riziko a zasazuje jej do širšího kontextu, tak jak je v současné době chápáno. Druhá část je věnována používaným metodám pro odhad technologického rizika a to kvalitativním i kvantitativním. Zároveň je zmíněno omezení metod a pozornost je věnována i kladům a záporům jednotlivých metod při aplikaci.

2.1 POJMY

Pro správné pochopení problematiky je vhodné ujasnit klíčové pojmy, ze kterých práce vychází. Mezi tyto pojmy bezesporu patří riziko, hrozba, zdroj rizika (nebezpečí), analýza a hodnocení rizik, posouzení rizika, referenční úroveň rizika.

RIZIKO

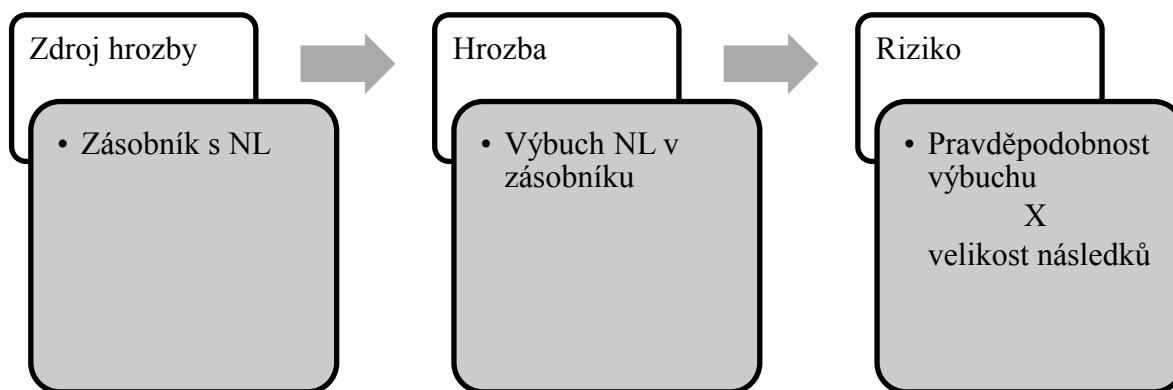
Definice ukotvená v zákoně 59/2006 Sb. o prevenci závažných havárií jasně vymezuje pojem riziko jako „*pravděpodobnost vzniku zvláštních účinků ve specifikovaném období nebo za specifikovaných okolností*“ [1]. Pro stanovení rizika jsou stěžejní dva faktory: pravděpodobnost vzniku a velikost následků havárie. Kombinací těchto veličin je možné odhadnout velikost konkrétního rizika.

HROZBA

Pojem hrozba označuje existující potenciál zdroje hrozby působit na aktiva. Hrozba je pojem zavedený především v ekonomických disciplínách, pojišťovnictví, pro sociální a politická rizika. V oblasti technologických a zdravotních rizik se častěji používá termín nebezpečí. [2]

ZDROJ RIZIK (NEBEZPEČÍ)

Zákon definuje zdroj rizika (nebezpečí) následovně „*zdrojem rizika (nebezpečím) je vlastnost nebezpečné látky nebo fyzická či fyzikální situace vyvolávající možnost vzniku závažné havárie*“ [1]. Vztah mezi konkrétním zdrojem hrozby, hrozbou a rizikem je zřetelný na následujícím obrázku.



Obrázek 1: Vztah mezi zdrojem hrozby, hrozbou a rizikem

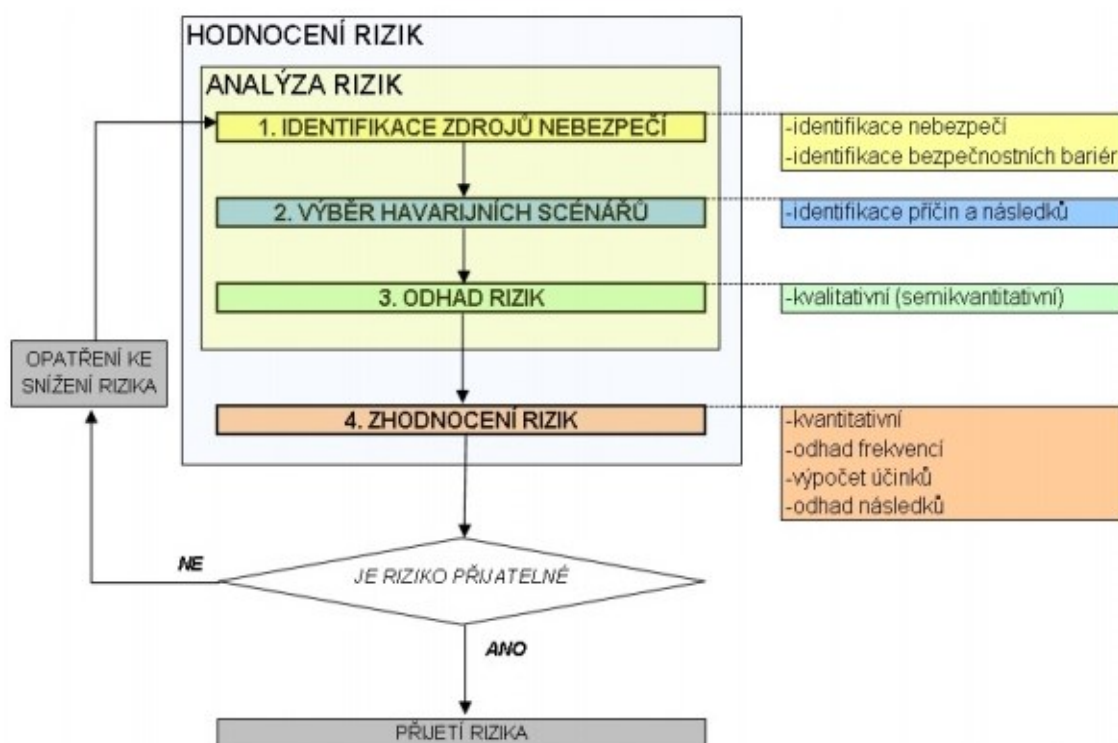
ANALÝZA A HODNOCENÍ RIZIK

Dokument, který ze zákona zpracovávají provozovatelé podniků zařazených do skupiny A nebo B musí obsahovat následující náležitosti: [1]

Provozovatel je povinen provést pro účely zpracování bezpečnostního programu nebo bezpečnostní zprávy analýzu a hodnocení rizik závažné havárie, ve které uvede

- identifikaci zdrojů rizika (nebezpečí),
- určení možných scénářů událostí a jejich příčin, které mohou vyústit v závažnou havárii,
- odhad dopadů možných scénářů závažných havárií na zdraví a životy lidí, hospodářská zvířata, životní prostředí a majetek,
- odhad pravděpodobností scénářů závažných havárií,
- stanovení míry rizika,
- hodnocení přijatelnosti rizika vzniku závažných havárií.

Tyto podklady společně s další podnikovou dokumentací slouží k provedení jednotlivých kroků hodnocení rizik závažných havárií. Rozdíl mezi pojmy analýza rizik a hodnocení rizik je názorně vysvětlen na následujícím obrázku:



Obrázek 2: Vztah mezi hodnocením a analýzou rizik [9]

REFERENČNÍ ÚROVEŇ RIZIKA

Referenční úroveň rizika je taková úroveň, která je v mezích akceptovatelného rizika. Horní hranice referenční úrovně rizika je obvykle zakotvená v legislativě, standardech či normách. Porovnáním skutečné míry rizika s hranicí referenční úrovně se rozhodne, zda je nutné aplikovat opatření pro snížení rizika. [2]

2.2 TECHNOLOGICKÉ RIZIKO

Technologická rizika, někdy označována jako technicko – technologická [4] jsou jednoznačně spjata s vědeckotechnickým rozvojem ve výrobní sféře. Tato rizika provázejí celý proces výroby a to od zavádění nových postupů, produktů, jsou následkem průmyslových, zemědělských a těžebních činností, výroby energií a především jsou spojena s provozem nebezpečných látek. Technologická rizika odrážejí bezpečnost všech technologických procesů v podniku [2]. V případě stanovení technologických rizik, kterému se věnuje tato práce, se jedná o rizika spojená se skladováním a stáčením nebezpečných látek.

2.3 LEGISLATIVNÍ RÁMEC

Za účelem získání komplexní představy o legislativě, která se problematikou zabývá a právně ji ohraničuje, byl zpracován následující rozbor platné legislativy pro ČR.

Stěžejním dokumentem z pohledu podniku s provozem NL je zákon o prevenci závažných havárií (č. 59/2006 Sb.), který vstoupil v platnost 1. června 2006. Tento zákon je výsledkem implementace změn ve směrnici Seveso II (č. 2003/105/ES) do české legislativy. Zákon stanovuje systém prevence závažných havárií pro podniky, v nichž je umístěna vybraná NL s cílem snížit pravděpodobnost vzniku a omezit následky závažných havárií. Zákon provozovatelům takovýchto podniků ukládá povinnosti zpracování dokumentace a další. [1]

Tento zákon bude dne 1. června 2015 nahrazen novým zákonem o prevenci závažných havárií a to v souvislosti se změnami systému EU pro klasifikaci NL, které jsou promítnuty do nové směrnice Seveso III (č. 2012/18/EU). Nová směrnice navazuje na systém prevence závažných havárií dle Seveso II (respektive Seveso I). Hlavní změny, které přináší Seveso III jsou následující: [5]

- Změna systému klasifikace NL a směsí – nově tři kategorie toxicity látky. Kategorie ne úplně odpovídají stávající kategorizaci, posouvají mezní nebo limitní hodnoty a jsou navíc rozděleny podle tří cest expozice (orální, inhalační, dermální).
- Rozšíření působnosti směrnice na podzemní zásobníky plynu.
- Pravomoc vynětí NL či směsi stanovených v příloze z působnosti této směrnice a to za podmínky, když se prokáže, že NL či směs nemůže způsobit riziko závažné havárie
- A další ...

Z pohledu veřejné správy s problematikou souvisí zákon o krizovém řízení (č. 320/2002), tzv. krizový zákon. Zákon ukládá povinnost pro správní úřady. „Správní úřady vedou přehled možných zdrojů rizik, provádějí analýzy ohrožení a v rámci prevence podle zvláštních právních předpisů odstraňují nedostatky, které by mohly vést ke vzniku krizové situace“. Dále zákon opravňuje HZS kraje vyžadovat, shromažďovat a evidovat údaje o množství, složení a umístění vyráběných, používaných nebo skladovaných nebezpečných látek a to za účelem přípravy na KS. [6]

Další platné zákony spjaté s problematikou souvisí a přepravou NL. Zákony jsou rozdělené podle typu přepravy na silniční, železniční, leteckou a vodní dopravu. Zákony zpravidla vymezují povinnosti dopravce, odesílatele i příjemce NL. Tyto povinnosti musí být zajištěny i v případě, že jde o přepravu pro vlastní potřeby.

Z hlediska samotných NL a směsí vymezuje problematiku klasifikace, balení a označování látek, ukládá povinnosti o poskytování informací a rozděluje gesce ve státní správě zákon o chemických látkách a chemických směsích (č. 350 / 2011), tzv. chemický zákon. [7]

3 METODY ANALÝZY RIZIK

K dosažení relevantních výsledků analýzy rizik je zcela klíčové volit v jednotlivých krocích analýzy vhodné metody. Tyto metody je příhodné volit s přihlédnutím na konkrétní případ, charakteristiku posuzovaného provozu, rozsah a dostupnost vstupních informací, požadovaný rozsah výsledné analýzy, finanční nákladnost aj.

Metody lze dělit na kvalitativní, kvantitativní, deterministické a pravděpodobnostní. Kvalitativní a kvantitativní metody se často vzájemně doplňují a je vhodné je mezi sebou kombinovat. Nejznámější dílčí metody jsou uvedeny v následující tabulce:

Tabulka 1: Dílčí metody analýzy rizik

ČESKÝ NÁZEV	ANGLICKÝ NÁZEV	ZKRATKA
Analýza kvantitativních rizik procesu	Process Quantitative Risk Analysis	QRA
Analýza pomocí kontrolních záznamů	Check List Analysis	CL
Analýza poruch a jejich následků	Failure Modes and Effects Analysis	FMEA
Analýza spolehlivosti člověka	Human Reliability Analysis	HRA
Analýza stromem poruch	Fault Tree Analysis	FTA
Analýza stromem událostí	Event Tree Analysis	ETA
Bezpečnostní audit	Safety Audit	SA
Co se stane, když	“What if”	WI
IAEA-TECDOC-727		

Indexové metody	Relative Ranking	RR
Metoda pravděpodobnostního hodnocení	Probabilistic Safety Assessment	PSA
Metoda výběru	CPR 18E - Purple Book	
Metodika pro analýzu dopadů havárií s účastí nebezpečné látky na životní prostředí H&V index		H&V
Předběžná (úvodní) analýza nebezpečí	Preliminary Hazard Analysis	PHA
Relativní hodnocení (ukazatelé nebezpečí)	Relative Ranking (Hazard Indices)	RR, (HI)
Studie nebezpečí a provozuschopnosti	Hazard and Operability Study	HAZOP

Zdroj: [8]

3.1 KVALITATIVNÍ

Výstupem kvalitativní analýzy je nečíselný odhad finálního rizika. Takové metody využívají slovního popisu pravděpodobností a možných následků. Výstup kvalitativních metod je zpravidla ve formě tabulky se zvolenou slovní stupnicí např. ve formě „zanedbatelné, malé, střední, vysoké, nepřijatelné“, tak jako je vidět v následující tabulce.

Tabulka 2: Stupnice kvalitativní metody

Stupnice	Riziko
5	Nepřijatelné
4	Vysoké
3	Střední
2	Malé
1	Zanedbatelné

Tyto metody jsou založeny na hodnocení specialistů a expertních odhadech, častým podkladem jsou strukturované rozhovory a dotazníky, ve kterých je žádoucí široká škála respondentů z různých oborů. Kvalitativní analýza se často používá jako prvotní přehled vedoucí k identifikaci rizik, která vyžadují podrobnější průzkum anebo tam, kde vstupní údaje nejsou postačující k provedení kvantitativní analýzy.

3.2 KVANTITATIVNÍ

Kvantitativní metody jsou zpravidla náročnější na vstupní informace, finanční zdroje a jejich zpracování trvá delší dobu. Metody systematické a využívají postup numerického vyčíslení jak pravděpodobnosti vzniku událostí, tak i jejich následků. Vznik události je zpravidla vyjádřen ve tvaru počet událostí/časový úsek [2]. Podle charakteristiky posuzovaného jevu může být časový úsek den, měsíc, rok i několik let či desetiletí. Následky události mohou být vyčísleny ve finančních jednotkách, počtu mrtvých či zraněných anebo velikostí zasaženého území. Metody se opírají především o matematické výpočty a technické odhady. Kvalita výstupu se odráží především od kvality, úplnosti a aktuálnosti vstupních informací.

Srovnání výhod a záporů kvantitativních a kvalitativních metod je vidět v následující tabulce:

Tabulka 3: Srovnání kvalitativních a kvantitativních metod

FAKTOR	KVALITATIVNÍ METODY	KVANTITATIVNÍ METODY
Čas	Nenáročné	Náročné
Finance	Nenáročné	Náročné
Lidské zdroje	Nenáročné	Náročné
Náklady	Horší kontrola	Lepší kontrola
Program. vybavení	Nenáročné	Náročné
Přesnost	Méně přesné	Více přesné
Spolehlivost	Méně spolehlivé	Více spolehlivé
Transparentnost	Diskutabilní	Transparentní
Vstupní data	Méně citlivé	Velmi citlivé
Výpočet	Nenáročné	Náročné

3.3 DETERMINISTICKÉ A PRAVDĚPODOBNOSTNÍ

V obecné rovině lze tvrdit, že deterministické metody se používají spíše pro analýzu celého průmyslového provozu, na rozdíl od pravděpodobnostních metod, které je vhodnější aplikovat pouze na vybranou část podniku. Pravděpodobnostní metody vyžadují podrobnější analýzu [9]. Deterministické metody jsou zaměřeny na produkt a zařízením v podniku. Velikost následků nežádoucí události je kvantifikována pro jednotlivé cíle- lidé, životní prostředí a zařízení. Pravděpodobnostní metody jsou založeny na pravděpodobnosti nebo četnosti vzniku nebezpečné situace nebo výskytu potenciální nehody a jsou zaměřeny na poruchy zařízení nebo jejich součástí [8].

4 POUŽITÉ METODY

Pro účely stanovení kritických technologických rizik ve vybraném podniku byly použity následující metody: Metoda výběru Purple book CPR 18E, Fire and Explosion index a IAEA-TECDOC-727. Pro získání komplexní představy o možných následcích technologické havárie byl použit počítačový software ALOHA.

Následující informace jsou čerpány z příruček k jednotlivým metodám a to buď přímo v originálním znění v anglickém jazyce, z jejich oficiálního českého překladu anebo z jiného relevantního zdroje. V závěru této kapitoly jsou diskutovány předpoklady, výhody a omezení jednotlivých metod a jejich komparace.

4.1 METODA VÝBĚRU

Selektivní metoda CPR 18E je vrcholnou metodou k identifikaci zdrojů rizika závažné havárie a je součástí knihy Purple book [10]. Tato „fialová kniha“ je stěžejním dokumentem pro kvantitativní hodnocení rizika a spadá do série tzv. Coloured books. Tyto „barevné knihy“ mají celosvětový význam a uplatnění a pokrývají problematiku bezpečnostních studií. Metoda CPR 18E Purple book identifikuje objekty neboli samostatné aparáty/zařízení které, díky různým provozním podmínkám (tlak, teplota, atd.), jsou svou stavbou a použitím v procesu unikátní. Metoda hodnotí toxické, hořlavé a výbušné vlastnosti nebezpečných chemických látek. Cílem metody je identifikovat všechny jednotky/zařízení tzv. zdroje rizika závažné havárie pro následnou detailní analýzu QRA [11].

Postup metody je následující:

1. Rozdělení posuzovaného objektu/podniku na nezávislé jednotky.
2. Stanovení indikačního čísla A, které vyjadřuje skutečnou míru nebezpečnosti každé nezávislé jednotky.
3. Stanovení selektivního čísla S. Selektivní číslo S vyjadřuje míru nebezpečnosti jednotky v posuzovaném bodě. Nebezpečnost jednotky se stanovuje pro množinu bodů v okolí (na hranici) objektu.
4. Výběr jednotek vyžaduje další analýzu QRA na základě relativní hodnoty selektivního čísla S.

Prvním krokem metody je vytvoření a výběr nezávislých jednotek. Důležitým kritériem pro definování „samostatných jednotek/zařízení“ je skutečnost, že únik obsahu jedné jednotky nevyvolá významný únik z druhé jednotky/zařízení. V důsledku toho jsou dvě jednotky/zařízení považované za dvě samostatné jednotky/zařízení tehdy, pokud mohou být v případě havárie od sebe odděleny ve velmi krátkém čase. Rozlišujeme dva typy jednotek/zařízení: procesní a skladovací. Procesní jednotka může být např. několik zásobníků nebo potrubí. Za skladovací jednotku můžeme považovat např. nádrž s nebezpečnou látkou uchovávanou za určitých podmínek.

Stanovení tzv. indikačního čísla je druhým krokem v selektivní metodě. Toto číslo se stanoví na základně identifikovaných nezávislých jednotek. Indikační číslo vyjadřuje míru skutečné nebezpečnosti každé nezávislé jednotky na základě množství a vlastností nebezpečných látek a provozních podmínek.

Selektivní číslo S vyjadřuje míru nebezpečnosti nezávislé jednotky vůči jinému posuzovanému objektu ve vzdálenosti označené L . Je to vzdálenost od nezávislé jednotky k posuzovanému místu, přičemž minimální délka je 100 m. Při stanovení selektivního čísla, které se počítá pro každou jednotku zvlášť, se musí brát v úvahu všechny body na hranici posuzovaného objektu. Mezi dvěma přilehlými místy nesmí být vzdálenost větší než 50 m. Číslo musí být stanovené pro celou hranici objektu i v případě, že objekt hraničí s podobným místem. Jestliže je posuzovaný objekt ohraničen vodní hladinou, musí se uvažovat body na hranici protějšího břehu.

Nezávislá jednotka pro kvantitativní hodnocení QRA je vybrána na základě hodnoty selektivního čísla:

- selektivní číslo jednotky v určitém bodě na hranici objektu větší než jedna. Při větším počtu zdrojů, budou vybrány jednotky, u kterých je hodnota větší jak 50% maximálního selektivního čísla v posuzovaném bodě,
- selektivní číslo jednotky je větší než jedna v bodě v obydlené oblasti (platí pro existující nebo plánované jednotky) v místě nejbližší jednotce.

Zdroje příručky: [10], [12]

4.2 FIRE AND EXPLOSION INDEX

Systémová analýza rizika metodou Fire & Explosion Index (F&EI) [13] je metodické, systematicky po krocích realizované, objektivní ocenění reálného nebezpečí požáru, exploze či reaktivity zařízení. Způsob kvantitativního posuzování vychází z historických zkušeností z minulých havárií, bere v úvahu energetický obsah materiálu v zařízení, jakož i plochu, na kterou se postupy používané při prevenci ztrát obvykle aplikují. Úkolem metody F&E Index je:

1. KVANTIFIKOVAT reálně očekávané škody následkem požáru, exploze a chemické reaktivity
2. IDENTIFIKOVAT zařízení, která by mohla přispívat ke vzniku a eskalaci nehody
3. PREZENTOVAT zjištěné F&E riziko managementu

Metoda Dow's F&E Index usiluje o stanovení maximální očekávané ztráty u procesní jednotky nebo podobného zařízení - ztráty, se kterou je třeba skutečně počítat za nejnepríznivějších provozních podmínek. Takový výpočet je založen na kvantifikovatelných údajích. Uvážení určitého množství uniklé látky, relace mezi procesní teplotou a teplotami vznícení a bodem varu + reaktivita materiálu, to je jen několik z mnoha příspěvků k pravděpodobné události.

Ačkoliv je metoda F&E Index v zásadě určena pro kterýkoliv provoz, ve kterém se skladuje, zpracovává nebo manipuluje s hořlavým, zápalným nebo reaktivním materiálem, může být použita i pro analýzu ztrát zařízení zpracovávajících odpady (kaly, splašky), distribučních systémů, potrubí, usměrňovačů, transformátorů, kotlů, zařízení pracující s oxidačními činidly a dalších částí elektráren. Metoda může být použita také pro hodnocení rizika v menších provozech se skromným inventářem potenciálně nebezpečných materiálů, zásadně se doporučuje aplikovat metodu i pro analýzu poloprovozních jednotek. Další (podrobnější) posouzení rizika se dělá pro taková zařízení, u kterých je F&E Index vyšší než 128.

Postup provádění studie je následovný:

1. Volba procesní jednotky, která je považována za klíčovou jednotku procesu a která by měla největší vliv na rozsah možného požáru nebo výbuchu
2. Stanovení materiálového faktoru MF pro každou uvažovanou procesní jednotku

3. Výpočet přírážek kategorie obecných procesních nebezpečí a stanovení faktoru obecných procesních nebezpečí
4. Výpočet přírážek kategorie speciálních procesních nebezpečí a stanovení faktoru speciálních procesních nebezpečí
5. Stanovení faktoru nebezpečnosti procesní jednotky (součin faktorů obecných a speciálních procesních nebezpečí)
6. Stanovení hodnoty F&E Indexu (součin faktoru nebezpečnosti procesní jednotky a materiálového faktoru MF)
7. Stanovení velikosti plochy zasažené fyzikálními účinky události
8. Stanovení nákladů na obnovu všech zařízení a inventáře uvnitř zasažené plochy (objemu)
9. Stanovení faktoru poškození, který reprezentuje stupeň poškození (na základě MF a faktoru nebezpečnosti procesní jednotky F3)
10. Stanovení základní hodnoty MPPD (základní hodnoty maximální očekávané ztráty majetku, součin hodnoty zasaženého objemu a faktoru poškození)
11. Na základě kreditního faktoru řízení ztrát a základní hodnoty MPPD se stanoví aktuální hodnota ztrát MPPD
12. Stanovení maximálního očekávaného počtu dní výpadku výroby MPDO
13. Stanovení ztrát vzniklých přerušením provozu. Vychází z rovnice uvedené, kde je MPDO násobeno hodnotou měsíční produkce VPM a poměrem 0.70/0.30

Zdroj příručky: [13], [14]

4.3 IAEA-TECDOC-727

Metoda IAEA TEC DOC 727 [15] se podobně jako Metoda výběru používá pro stanovení předběžného obecného kvantitativního přehledu o různých rizicích ve velké průmyslové oblasti, a to na základě odhadu společenského rizika pro obyvatelstvo a dále pro stanovení priorit u rozdílných zdrojů rizika pro další podrobnější analýzu.

Metoda je založena na klasifikaci nebezpečných aktivit ve sledované oblasti pomocí kategorizace následků a pravděpodobnosti výskytu velké havárie. Kategorizace následků vede uživatele k přibližnému výpočtu počtu smrtelných zranění při události v průmyslovém zařízení nebo při přepravě nebezpečných látek. Odhad pravděpodobností

je založen na dostupných informacích o frekvenci výskytu (počtu událostí / rok). Jakmile bylo stanoveno kritérium nebo kritéria přijatelnosti společenského rizika, lze pomocí matice identifikovat, které aktivity nesplňují stanovené podmínky. Výsledkem je seznam těch aktivit, jejichž riziko je třeba analyzovat podrobněji, prioritně před jinými aktivitami.

Dílčí kroky pro klasifikaci rizika a stanovení priorit metodou IAEA TEC-DOC 727 je následující:

1. Klasifikace typů činnosti a zařízení
2. Odhad vnějších následků velké havárie na obyvatelstvo
3. Odhad pravděpodobnosti havárie
 - a) pro výrobní zařízení
 - b) pro přepravu
4. Odhad společenského rizika
5. Stanovení priorit rizika

Jakmile byly vymezeny (stanoveny) hranice a hlavní obecné charakteristiky oblasti (regionu), je třeba shromáždit základní obecné informace o všech nebezpečných zařízeních, všech dopravních cestách a způsobech přepravy nebezpečných látek. Z těchto aktivit se vyberou všechny takové činnosti, které reprezentují riziko a k nim musejí být získány další podrobnější informace. Musí být vytvořen seznam uvažovaných nebezpečných látek a provede se jejich klasifikace. Cílem prvního dílčího kroku je klasifikace typu činnosti a zařízení.

Odhad vnějších následků velké havárie na obyvatelstvo je založen na odhadu následků (tj. počtu fatálních případů v uvažované oblasti), které může způsobit velká havárie a to pro každou uvažovanou činnost s ohledem na zasaženou plochu, hustotu populace v oblasti a korekčního faktoru/ů. Tyto faktory zahrnují vlivy vzdálenosti populace, rozložení populace a eventuální možné zmírňující faktory.

Odhad pravděpodobnosti vzniku velké havárie pro a) fixní zařízení je založen na odhadu frekvence výskytu velké havárie pro každou posuzovanou činnost, vychází se z tzv. pravděpodobnostních čísel získaných studiem většího počtu havárií. Přitom se uvažuje vliv tzv. korekčních faktorů. Tyto faktory se odhadují na základě frekvence stáčení/plnění, uvažuje se vliv instalovaných bezpečnostních systémů, vliv organizačních

a bezpečnostních opatření a pravděpodobný směr větru vzhledem k poloze střediska populace v ovlivněné zóně. Odhad pravděpodobnosti vzniku velké havárie b) při přepravě nebezpečného nákladu je založena na odhadu frekvence výskytu havárie při přepravě nebezpečné látky s ohledem na typ přepravy (silnice, železnice, vodní cesta, potrubní dálkovod). I zde se aplikují korekčních faktory, které zahrnují vliv bezpečnostních podmínek přepravy, hustoty dopravy a pravděpodobném směru větru s ohledem na polohu střediska populace v uvažované oblasti.

Pro odhad společenského rizika je každá činnost klasifikována pomocí stupnice následků a stupnice pravděpodobnosti výskytu události. Všechny nebezpečné aktivity v uvažované oblasti se znázorní v matici znázorňující vazbu na pravděpodobnost a následky.

Posledním dílčím krokem je stanovení priorit rizika. Kritéria pro rozhodnutí o přijatelnosti rizika musejí být definována před samotným řešením úlohy. Bývají zakreslena do matice rizik, takže všechny činnosti, které nesplňují stanovená kritéria, jsou snadno identifikována. Takové zdroje rizika, které nesplňují stanovená kritéria, jsou vybrány pro další detailní analýzu v tom pořadí, jak překračují stanovená kritéria.

Zdroj příručky: [15], [16]

4.4 ALOHA

ALOHA 5.4 (Areal Locations of Hazardous Atmospheres) je program vyvinutý agenturami U.S. EPA a NOAA s cílem oceňování možných následků havárie prostřednictvím modelace úniku NL, požárů a výbuchů těchto NL. Grafickým výstupem je vykreslená stopa oblaku nebo zasažená zóna [17]. Textový výstup poskytuje informaci o zadaných údajích a výsledcích modelování. Při práci s programem je nutné dodržovat následující pořadí zadávání vstupních informací: [18]

1. charakteristika lokality havárie (kde, v jaké zástavbě...)
2. časové údaje (kdy, hodina, den, roční doba...)
3. atmosférické a meteorologické údaje
4. charakteristiky unikajících látek a jejich reakce

Program ALOHA počítá koncentrace NL při zemi a to na principu dvou různých modelů rozptylu. ALOHA je navržena tak, aby sama automaticky zvolila podle zadaných dat k výpočtu vhodný model. Uživatel si ovšem sám může model vybrat manuálně. Prvním modelem je Gaussův model. Ten je využitelný při malých únicích NL. Nutnou podmínkou pro získání relevantních výstupů z tohoto modelu je fakt, že molekulová hmotnost uniklé látky a její teplota jsou přibližné okolnímu plynnému prostředí (vzduchu). Druhý model, model rozptylu těžkého plynu, je vhodnější pro modelování úniků většího množství látek za podmínky vyšší molekulové hmotnosti a nižší teploty látky, než je okolní prostředí.

Zdroj příručky: [17], [19]

4.5 SHRUTÍ A DISKUSE

Kapitola stručně shrnuje a komentuje získané informace o aplikovaných metodách. Metoda výběru je univerzálně použitelná pro identifikaci zdrojů rizik při provozu, manipulaci a skladování NL. Metoda se zaměřuje na skutečnost ohrožení okolí vlivem vzniku závažné havárie uvnitř podniku. První část výpočtu se vztahuje k vlastní vnitřní nebezpečnosti selektovaných jednotek a není příliš náročná na informace o provozu. Výpočet indikačního čísla A je poměrně snadný. Druhá část výpočtu souvisí s polohou zvolené jednotky v podniku, vzdáleností k hranici podniku a k rezidenční oblasti. Pokud se jedná o větší podnik, jeho hranice bude rozdělena na několik desítek bodů a výpočet bude zdlouhavý, ale ne příliš náročný. Získané výstupy jsou poměrně snadno interpretovatelné.

Pro metodu F&EI je charakteristický náročnější výpočet, který často vyžaduje spolupráci zpracovatele s dalšími odborníky a také přístup metody k výpočtu – uvažuje nejhorší možnou variantu. Na rozdíl od metody výběru F&EI nezahrnuje možnost odhadu rizika při transportu NL a rovněž se metoda F&EI soustřeďuje především na prostředí podniku a ekonomický aspekt při vzniku havárie či poruše zařízení. Metoda uvažuje jak skladovací tak i procesní jednotky, zejména reaktory, ale je aplikovatelná na jakékoliv hořlavé či reaktivní látky. Její omezení spočívá především v neaplikovatelnosti na jiné látky, než hořlavé a reaktivní. Metoda má velmi dobře propracovaný systematický postup, při kterém se krok po kroku hodnotí jednotlivé přírážky obecných i speciálních procesních nebezpečí. Může ovšem dojít k odchylkám ve výstupu, pokud bude výpočet zpracován

dvěma odlišnými odborníky. Metoda dává prostor, ač naštěstí velmi omezený, k vyjádření subjektivního vnímání některých faktorů. Výsledná hodnota se tedy může v případě dvojího zpracování lišit, ale ne nijak zásadně. Další nevýhodou metody je její náročnost na přesné vstupní informace a také na jejich množství. Kvalita i kvantita těchto informací samozřejmě ovlivňuje výslednou vypočtenou hodnotu. Posledním omezením této metody je doporučená spodní hranice množství látky v posuzované jednotce. Doporučené množství je alespoň 454 kg hořlavého nebo reaktivního materiálu, při hodnocení jednotky s menším množstvím materiálu bude výsledná hodnota nadsazená.

Poslední metoda, tedy IAEA-TECDOC-727, se řadí spíše mezi starší metody a není v dnešní době tolik využívána. Její omezení spočívá v množství látky, spodní hranice je 200 kg NL, vzdálenosti od rezidenční oblasti a dalšími faktory. Uvnitř zasažené oblasti se předpokládá 100% úmrtnost, vně zasažené oblasti smrtelné případy nejsou předpokládány. Metoda jako jediná z výše uvedených přímo kalkuluje se silniční, železniční i lodní přepravou a proto jsou získané výsledky lehce odlišné. Pro odhad pravděpodobnosti vzniku a dopadu následků havárie metoda bere v úvahu pouze několik základních faktorů, jako je hustota populace, frekvence převozu NL, frekvence stáčení atd. Tento fakt se může v důsledku odrazit v nepřesnosti získaných výsledků.

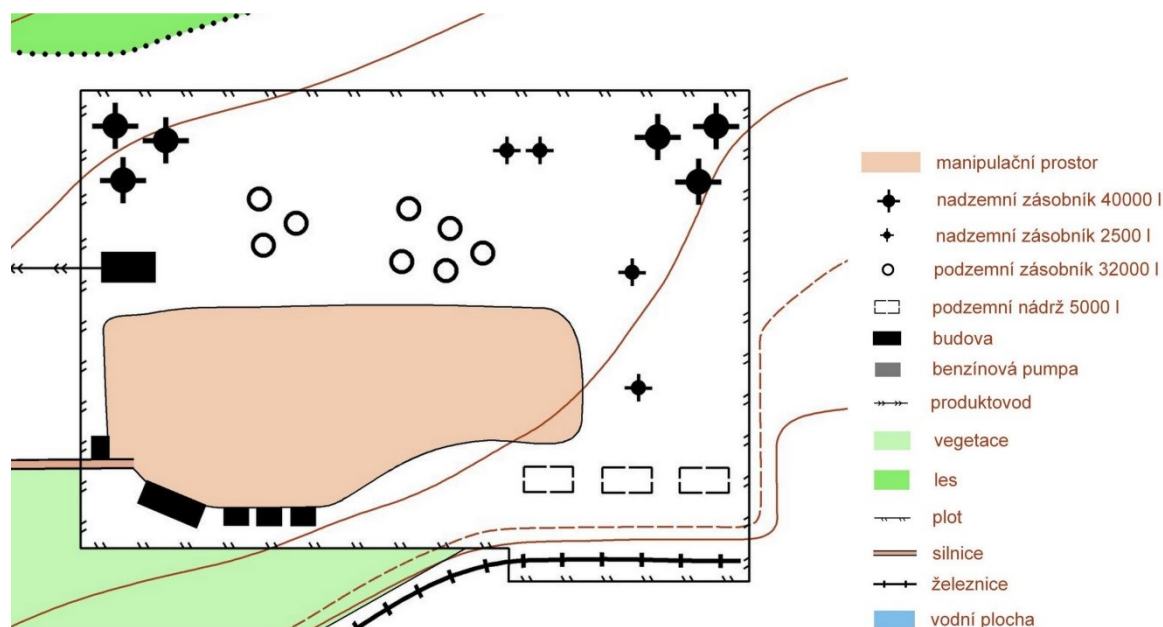
Program Aloha byl vybrán za účelem modelování následků havárií. Jeho omezení spočívá především v časově ohraničených simulacích, počítá totiž s dobou působení látky po dobu 1 h. Je také škoda, že program není lokalizován pro použití v Evropských podmínkách a proto může být zadávání vstupních údajů o místě vzniku havárie lehce komplikované. Interní databáze poskytuje kvantitativně uspokojující soubor NL, avšak při zadávání látek, které databáze neposkytuje, je nutné získat velké množství údajů o uvažované NL. Je proto dobré využít sesterskou databázi CAMEO Chemicals. Programy spolu dobře spolupracují a je snadné získaná data exportovat z CAMEO do Alohy. Poslední nevýhodou Alohy je velmi omezená možnost zadávání informací o okolním terénu. Aloha poskytuje základní rozdělení terénu, ale nebere v úvahu například vysoké překážky, jako jsou kopce či vertikální sídlištní zástavba. Šíření některých NL by tento fakt jednoznačně ovlivnil a proto lze výstupy z Alohy brát pouze jako orientační a případně je dle situace modifikovat.

5 POPIS PODNIKU A OKOLÍ

Po dohodě s vybraným průmyslovým podnikem nebude uváděn název společnosti, ale veškeré vstupní údaje odpovídají průmyslové praxi. Pro účely této práce bude tedy nadále označován jen jako „podnik“. Vzhledem charakteristice podniku existují určitá rizika pro okolí a okolní obyvatelstvo. S přihlédnutím na množství NL v podniku je doporučen zjednodušený postup analýzy rizik.

5.1 PODNIK

Hlavní činností podniku je skladování ropných produktů včetně přečerpávání produktů z a do automobilových cisteren. Pozemek, na kterém se podnik nachází, je téměř pravidelného čtyřúhelníkového tvaru o délkách stran 260 m a 380 m. Na pozemku o rozloze téměř deset hektarů je umístěno celkem 10 nadzemních zásobníků na NL ve dvou velikostech, 8 podzemních zásobníků a 3 podzemní nádrže na plyn. Celkové množství NL, které se aktuálně nachází v podniku, dosahuje 521 000 l. Konkrétní výčet látek včetně jejich bezpečnostní specifikace a aktuálního množství je uveden v tabulce. Z přiloženého náčrtu je zřejmé rozmístění zásobníků v podniku.



Obrázek 3: Náčrt podniku

Příjezdovou branou projíždí cisterny i ostatní automobilový náklad, se kterým se nadále manipuluje na rozlehlé betonové ploše. Do areálu je přivedena také vlečka, po které jsou v železničních cisternách transportovány NL. Posledním způsobem dopravy NL do podniku je produktovod, který je veden podél příjezdové silnice a hranici areálu tak protíná v horní polovině západní strany. Mimo zásobníky a nádrže se v areálu nachází komplex zděných dvoupodlažních budov, ve kterých sídlí administrativní zázemí podniku včetně veškerého nezbytného vybavení.

V následující tabulce je souhrn všech NL, které se v podniku nacházejí, včetně způsobu jejich uložení a množství v litrech. Přepočty na kilogramy či tuny byly provedeny až při aplikaci množství NL do výpočtů tak, jak metody požadují.

Tabulka 4: Souhrn nebezpečných látek v podniku

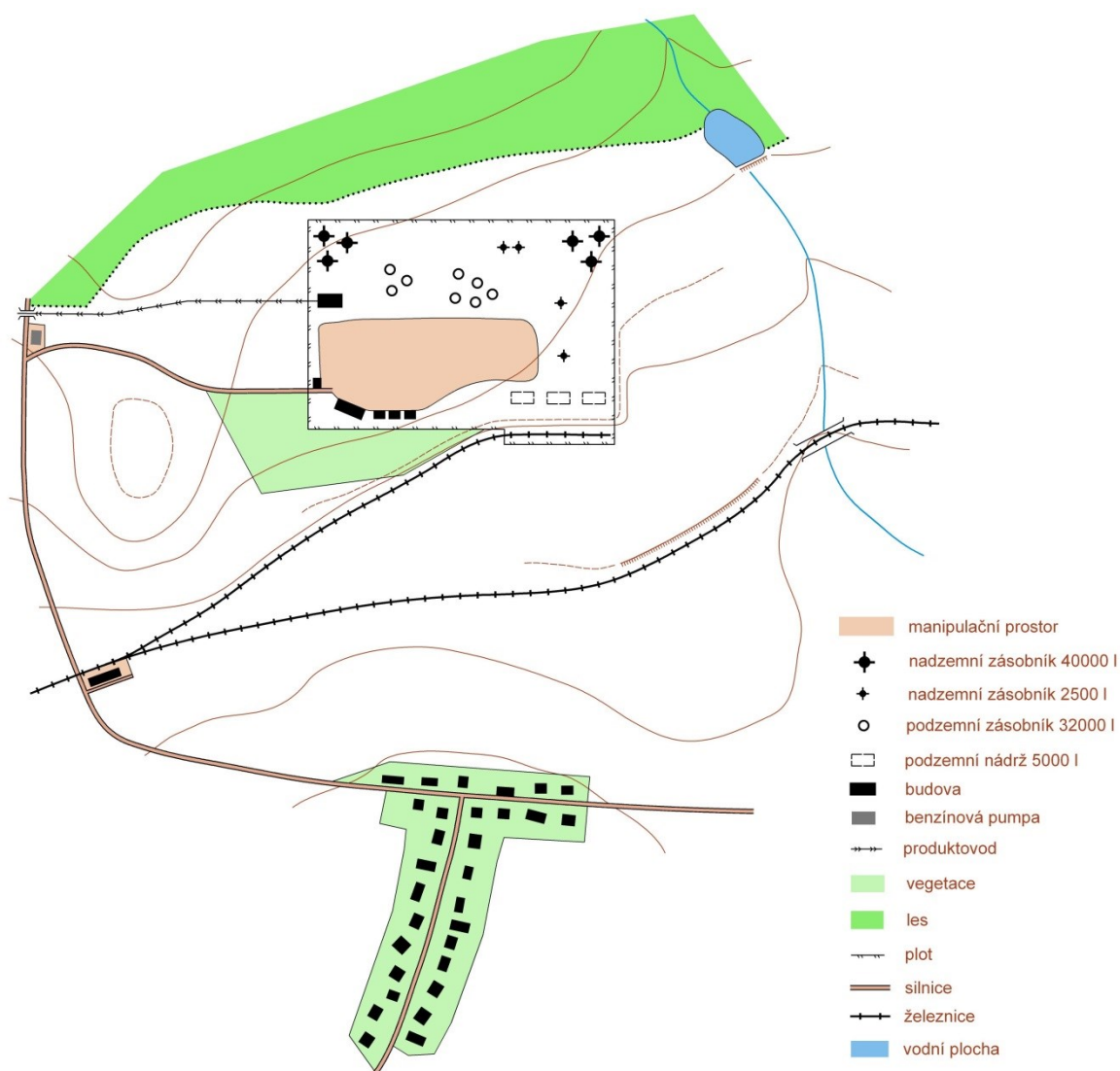
NÁZEV LÁTKY	MNOŽSTVÍ [LITRY]	ULOŽENÍ
Benzín automobilový	6 x 40 000	Nadzemní zásobník
Ethanol 85	1 x 2 500	Nadzemní zásobník
Letecký petrolej JET A1	2 x 2 500	Nadzemní zásobník
Motorová nafta	8 x 32 000	Podzemní zásobník
Propan butan	3 x 5 000	Podzemní nádrž
FAME OLEO	1 x 2 500	Nadzemní zásobník

5.2 OKOLÍ

Podnik je umístěn v severní části menší středočeské obce. V okolí podniku vyrůstá planě rostoucí vegetace, 20 m od hranice podniku severozápadním směrem začíná hustý lesní porost, 150 m severovýchodním směrem se nachází menší rybník. V těsné blízkosti jižní hranice areálu vede železniční trať, která je využívána pro osobní i nákladní přepravu. Trať spojuje krajská města a je tedy využívána cestujícími za prací a školou. Necelých 350

m západním směrem je umístěna čerpací stanice pohonných hmot. Okolní krajina je téměř rovinná bez výrazného stoupání či klesání. Bytová zástavba se nachází 430m od jižní hranice areálu. Celý areál je oplocen profilovaným plechem do výšky 2 m.

V obci, ve které se podnik nachází, je v současné době na 30 rodinných domků a 128 trvale žijících obyvatel.



Obrázek 4: Mapa podniku a okolí

6 KVANTIFIKACE KRITICKÝCH TECHNOLOGICKÝCH RIZIK

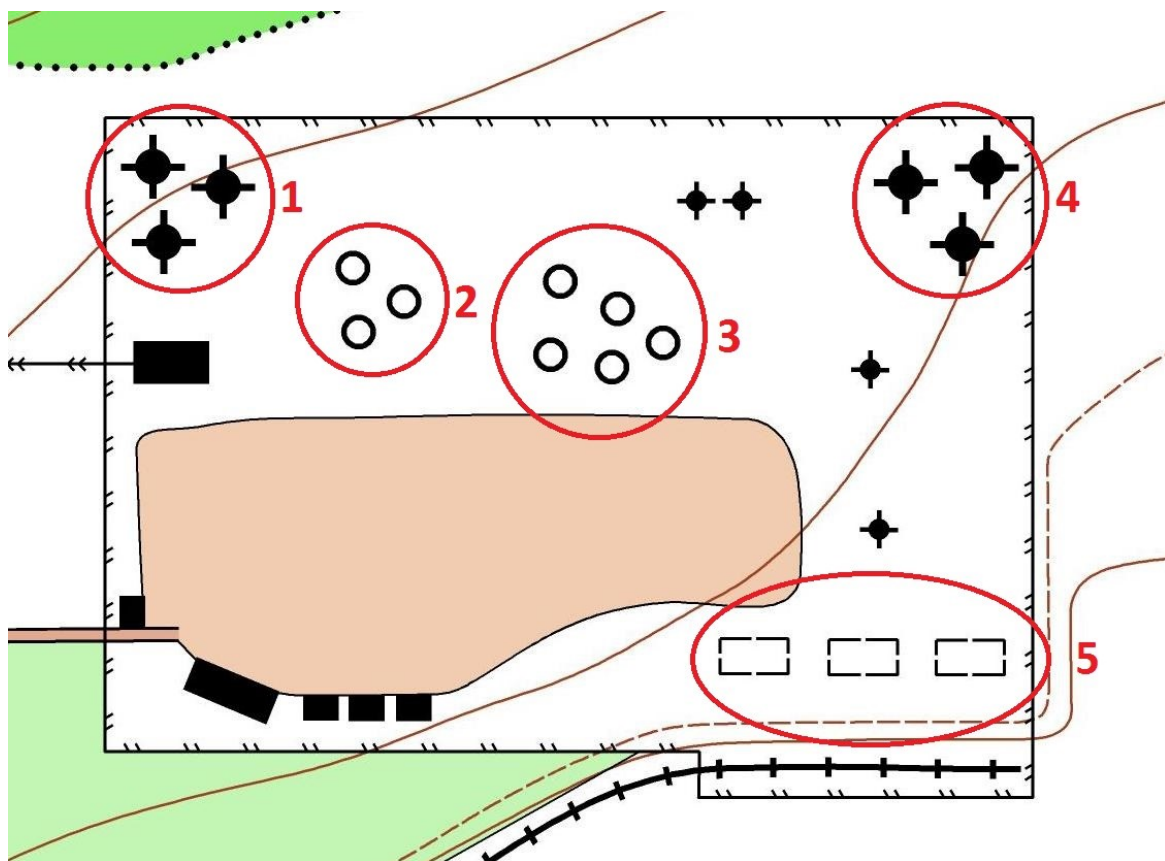
Tato praktická část diplomové práce se věnuje stanovení kritických technologických rizik v popsaném podniku. Nejdříve je nutné identifikovat zdroje rizik a následně vybrat takové zdroje, které vyžadují podrobnější analýzu. Na tento dílčí krok budou aplikovány vybrané metody: Metoda výběru, Fire and Explosion index, IAEA-TECDOC-727 a ALOHA. Výsledky jednotlivých metod následně práce komparuje a diskutuje. Dalšími kroky analýzy rizik jsou identifikace příčin havárií a konečně odhad pravděpodobnosti a následků. Posledním krokem této části práce je hodnocení rizika a rozhodnutí o jeho přijatelnosti. Seznam všech NL v podniku a jejich charakteristiky je uveden v následující tabulce.

Tabulka 5: Informace o nebezpečných látkách

NÁZEV LÁTKY	BEZPEČNOSTNÍ SYMBOLY	R VĚTY	S VĚTY
Benzín automobilový	F+, T, N	R 12, R 38, R 45, R 46, R 51/53, R 63, R 65, R 67	S 1/2, S 13, S 20, S 23, S 24, S 29, S 36/37, S 43, S 45, S 46, S 51, S 53, S 61, S 62
Ethanol 85	F+, T, N	R 12, R 38, R 45, R 46, R 51/53, R 63, R 65, R 67	S 1/2, S 13, S 20, S 23, S 24, S 29, S 36/37, S 43, S 45, S 46, S 51, S 53, S 61, S 62
Letecký petrolej JET A1	N, Xn	R10; R38; R51/53; R65	S2; S23; S24; S43; S51; S61; S62
Motorová nafta	N, Xn, Xi	R20, R38, R40, R51/53, R65	S2, S23, S24, S36/37, S51, S61, S62
Propan butan	F+	R12	S2; S9; S16; S33
FAME OLEO	Xi	36/38, 66	2, 36/37, 61, 62

6.1 METODA VÝBĚRU

V prvním kroku byl podnik rozdělen na nezávislé jednotky tak, jak příručka v metodě doporučuje. V podniku tedy bylo rozděleno 5 na sobě nezávislých jednotek. Ostatní menší zásobníky nebudou do studie zahrnuty vzhledem k množství a typům látky v nich umístěných. Rozdělení podniku na nezávislé jednotky je zřejmé z následujícího obrázku.



Obrázek 5: Nezávislé jednotky, Metoda výběru

Následující tabulka obsahuje informace o látce, jejím množství a typu scénáře, který se k jednotlivým odděleným jednotkám vztahuje. Pro účely zpracování této metody se počítá, že každá jednotka je zcela naplněna, takže výpočet vždy odpovídá nejhoršímu možnému případu. Ve skutečnosti se doporučuje plnění max. do 90 % objemu zásobníku.

Údaje o jednotlivých jednotkách jsou shrnuty do následující tabulky. Jednotky 1 a 4 jsou totožné. Klasifikace látek proběhla na základě informací z veřejně dostupných bezpečnostních listů. Hořlavost nafty byla určena na základě případových studií provedených k vybrané metodě.

Tabulka 6: Informace o jednotkách, Metoda výběru

JEDNOTKA	ZAŘÍZENÍ	LÁTKA	DRUH LÁTKY	MNOŽSTVÍ
1	Zásobník	Benzín	Hořlavá	120 000 l / 88 000 kg
2	Zásobník	Nafta	Hořlavá	96 000 l / 80 640 kg
3	Zásobník	Nafta	Hořlavá	160 000 l / 134 400 kg
4	Zásobník	Benzín	Hořlavá	120 000 l / 88 000 kg
5	Zásobník	Propan butan	Hořlavá	15 000 l / 8 100 kg

Pro každou jednotku byly definovány dva scénáře, první pro pouhé skladování a druhý pro proces. Procesem se rozumí stáčení látky do přistavené autocisterny či vlakové cisterny anebo naopak naplňování zásobníků z cisteren. Specifickou situací ve zvolených scénářích je únik propan butanu při procesu stáčení, při smíchání se vzduchem tvoří výbušné směsi a hrozí tedy výbuch typu V.C.E. (Vapour cloud explosion). Je zřejmé, že scénář procesu bude vždy představovat větší riziko, než pouhé skladování NL. Ovšem pro aplikaci zvolených metod je žádoucí oba scénáře posuzovat zvlášť. Toto rozdělení scénářů je použito v každé aplikované metodě.

Uvedené NL v identifikovaných nezávislých jednotkách jsou klasifikovány následovně. Benzín jako látka extrémně hořlavá, pro účely této metody spadá do kategorie látek hořlavých, nafta patří do kategorie látek hořlavých, a je tedy zařazena do stejné kategorie jako benzín, ale vykazuje jiné vlastnosti než benzín. Propan butan je látka extrémně hořlavá a jeho směsi se vzduchem jsou výbušné.

V prvním kroku bylo vypočteno deset indikačních čísel, pro každou jednotku ve dvou definovaných scénářích. Výpočet byl proveden pomocí následujícího vzorce [10]:

$$A = (Q \cdot O_1 \cdot O_2 \cdot O_3) \cdot G^{-1} \quad (1)$$

Kde:

Q – množství látky přítomné v zařízení (kg)

O₁ – faktor pro procesní jednotku nebo skladovací jednotku

O₂ – faktor zohledňující umístění jednotky (uvnitř / vně)

O₃ – faktor zahrnující množství látky v plynném stavu po úniku v závislosti na provozní teplotě, normálním bodu varu, skupenství látky a teplotě okolí

G – mezní hodnota – mezní množství nebezpečné látky (kg)

1) Výpočet indikačního čísla A_1^A pro skladování benzínu

$$A_1^A = (88\,000 \cdot 0,1 \cdot 1 \cdot 0,9) \cdot 10\,000^{-1}$$

$$\mathbf{A_1^A = 0,792}$$

2) Výpočet indikačního čísla A_1^B pro stáčení benzínu

$$A_1^B = (88\,000 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,9) \cdot 10\,000^{-1}$$

$$\mathbf{A_1^B = 7,92}$$

3) Výpočet indikačního čísla A_2^A pro skladování nafty

$$A_2^A = (80\,640 \cdot 0,1 \cdot 1 \cdot 0,1) \cdot 10\,000^{-1}$$

$$\mathbf{A_2^A = 0,08064}$$

4) Výpočet indikačního čísla A_2^B pro stáčení nafty

$$A_2^B = (80\,640 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,1) \cdot 10\,000^{-1}$$

$$\mathbf{A_2^B = 0,8064}$$

5) Výpočet indikačního čísla A_3^A pro skladování nafty

$$A_3^A = (134\,400 \cdot 0,1 \cdot 1 \cdot 0,1) \cdot 10\,000^{-1}$$

$$\mathbf{A_3^A = 0,1344}$$

6) Výpočet indikačního čísla A_3^B pro stáčení nafty

$$A_3^B = (134\,400 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,1) \cdot 10\,000^{-1}$$

$$\mathbf{A_3^B = 1,344}$$

7) Výpočet indikačního čísla A_4^A pro skladování benzínu

$$A_4^A = (88\,000 \cdot 0,1 \cdot 1 \cdot 0,9) \cdot 10\,000^{-1}$$

$$\mathbf{A_4^A = 0,792}$$

8) Výpočet indikačního čísla A_4^B pro stáčení benzínu

$$A_4^B = (88\,000 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,9) \cdot 10\,000^{-1}$$

$$\mathbf{A_4^B = 7,92}$$

9) Výpočet indikačního čísla A_5^A pro skladování propan butanu

$$A_5^A = (8\,100 \cdot 0,1 \cdot 1 \cdot 10) \cdot 10\,000^{-1}$$

$$A_5^A = 0,81$$

10) Výpočet indikačního čísla A_5^B pro stáčení propan butanu

$$A_5^B = (8\,100 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 10) \cdot 10\,000^{-1}$$

$$A_5^B = 8,1$$

Ze získaných indikačních čísel lze posoudit, že všechna zařízení vykazují větší vlastní míru nebezpečnosti při uvažovaném scénáři B, tedy stáčení látky. Procesy stáčení benzínu a propan butanu vykazují nejvyšší míru nebezpečnosti ze všech uvažovaných jednotek a scénářů.

V dalším kroku byla hranice podniku postupně rozdělena na 28 bodů tak, aby jejich vzájemná vzdálenost nebyla větší než 50m. Pro každý tento bod zvlášť byla zjišťována vzdálenost od každé posuzované jednotky. Posledním určeným bodem byla hranice rezidenční oblasti. I k této hranici byla měřena vzdálenost od každé posuzované jednotky. Souhrnné výsledky k tomuto měření jsou k nahlédnutí v příloze č. 1. Pomocí vypočtených selektivních čísel byly vybrány pro podrobnější QRA analýzu následující jednotky:

1) Jednotka 1 (benzín) v uvažovaném scénáři B (stáčení)

Selektivní číslo bylo vyšší než 50% maximálního selektivního čísla a zároveň >1 v posuzovaném bodě celkem v 9 případech.

2) Jednotka 3 (nafta) v uvažovaném scénáři B (stáčení)

Selektivní číslo bylo vyšší než 50% maximálního selektivního čísla a zároveň >1 v posuzovaném bodě celkem v 1 případě.

3) Jednotka 4 (benzín) v uvažovaném scénáři B (stáčení)

Selektivní číslo bylo vyšší než 50% maximálního selektivního čísla a zároveň >1 v posuzovaném bodě celkem v 8 případech.

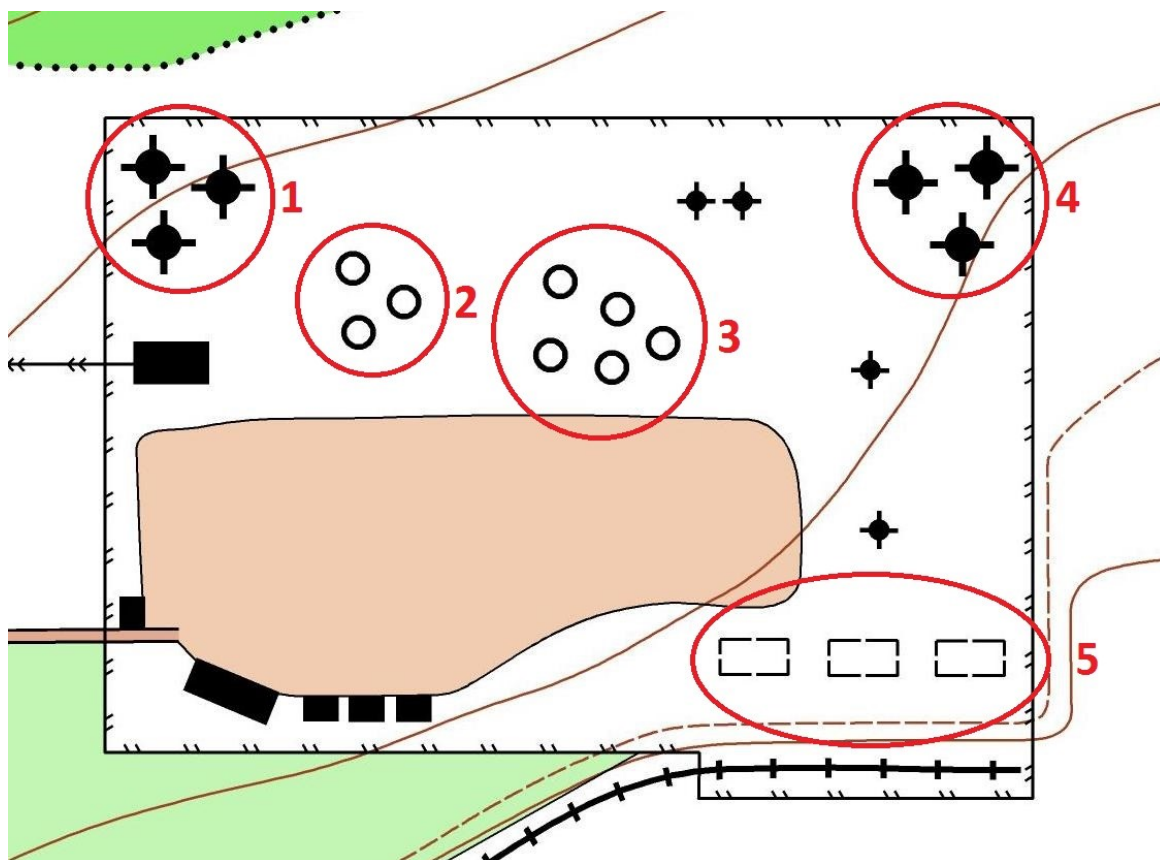
4) Jednotka 5 (propan butan) v uvažovaném scénáři B (stáčení)

Selektivní číslo bylo vyšší než 50% maximálního selektivního čísla a zároveň >1 v posuzovaném bodě celkem v 10 případech.

Podrobení jednotek podrobnější analýze a aplikace doporučených preventivních opatření by probíhalo dle následující prioritizace. Jako první je nutné studii podrobit jednotku č. 5, tedy nadzemní zásobník propan butanu při procesu stáčení. Dále jednotky č. 1 a č. 4, což jsou zásobníky benzínu, opět uvažováno při procesu stáčení. A jako poslední i jednotku č. 3, tedy zásobník nafty opět ve zmíněném scénáři stáčení NL.

6.2 FIRE AND EXPLOSION INDEX

Volba jednotek k posouzení nebezpečnosti metodou F&EI probíhala dle doporučení, která jsou k nalezení přímo v příručce k metodě. Celý podnik byl tedy rozdělen na 5 procesních jednotek, tak, jak je vidět na následujícím obrázku. Pro účely zpracování této metody se počítá, že každá jednotka je zcela naplněna, takže výpočet vždy odpovídá nejhoršímu možnému případu. Ve skutečnosti se doporučuje plnění max. do 90 % objemu zásobníku.



Obrázek 6: Nezávislé jednotky, *Fire and Explosion Index*

Procesní jednotka 1 čítá 3 nadzemní zásobníky benzínu, každý o velikosti 40 000 l. Celkové množství benzínu v této procesní jednotce je tedy 88 800 kg. Procesní jednotky 2 a 3 jsou podzemní zásobníky nafty. V první zmiňované jednotce jsou 3 zásobníky, každý o objemu 32 000 l. Celkové množství nafty v druhé procesní jednotce je tedy 80 640 kg. Třetí procesní jednotka se skládá z pěti totožných zásobníků a množství skladované nafty je 134 400 kg. Čtvrtá procesní jednotka obsahem i umístěním v podniku zcela odpovídá první procesní jednotce a proto je výpočet naprosto totožný. Poslední, tedy pátá, procesní jednotka skladuje propan-butan ve třech nadzemních zásobnících, každý o velikosti 5 000 l. Celková hmotnost látky v této jednotce je tedy 8 100 kg.

Pro každou vybranou jednotku byly navrženy dva scénáře. První definoval jednotku jako čistě skladovací, takže nepočítá s únikem NL při stáčení apod. Druhý scénář formuluje již potenciální nehody způsobené provozem, tj. stáčením NL. Přírážky byly proto voleny s ohledem na daný scénář. Označení procesních jednotek kopíruje výše zmíněné rozdělení, tj. 1 – 5 a každá jednotka má dva scénáře, tj. A a B. V následující tabulce jsou shrnuty dosažené hodnoty F&EI pro jednotlivé uvažované scénáře. Podrobné

informace o stanovení materiálového faktoru, o výpočtech přírážek obecných a speciálních procesních nebezpečí a o stanovení hodnoty F&EI pro každou posuzovanou jednotku a každý scénář zvlášť jsou zaneseny do formulářů pro stanovení F&EI. Jeden tento formulář je vložen na následující stránce, ostatní jsou k nahlédnutí v příloze č. 2.

Tabulka 7: Výsledky metody Fire and Explosion Index

ČÍSLO JEDNOTKY	NÁZEV JEDNOTKY	SCÉNÁŘ	F&EI
1	Zásobník benzínu (levý)	A: Skladování	50,37
		B: Stáčení	154,70
2	Zásobník motorové nafty (menší)	A: Skladování	15,14
		B: Stáčení	71,57
3	Zásobník motorové nafty (větší)	A: Skladování	15,84
		B: Stáčení	74,40
4	Zásobník benzínu (pravý)	A: Skladování	50,37
		B: Stáčení	154,70
5	Zásobník propan butan	A: Skladování	93,89
		B: Stáčení	167,19

Scénáře varianty A uvažují pouze běžné skladovací zásobníky/tanky a proto je výsledný F&EI těchto scénářů výrazně nižší, než při druhém uvažovaném scénáři. Při procesu stáčení NL ze zásobníku byla vždy uvažován způsob stáčení, kdy je propojovací potrubí pokaždé montováno a demontováno. Plochý terén v okolí jednotek umožňuje velké roztečení NL při úniku. Přírážka na tlak byla použita pouze při procesu stáčení NL, nikoli při samotném skladování. Těsnění čerpadel jsou zdrojem malých netěsností při stáčení NL.

Metoda místy nabízí velký interval přírážek a je velmi náročné rozhodnout o velikosti dané přírážky. Některé údaje jsou těžko získatelné, nejsou zaneseny v databázi, kterou poskytuje příručka metody a ani v bezpečnostních listech jednotlivých NL.

Na základě provedených výpočtů je zřejmé, že podrobnější analýzu vyžadují dvě zkoumané jednotky při procesu stáčení a to zásobník benzínu a zásobník propan butanu. Zasažená oblast v případě požáru zásobníku benzínu by měla poloměr 33 m a v případě

požáru zásobníků s propan butanem necelých 37 m. Vzhledem k charakteristice areálu a velikostí zasažené oblasti nejsou předpokládány větší dopady na okolí podniku.

Tabulka 8: Formulář Fire and Explosion Index

1A ZÁSObNÍK BENZÍNU (SKLAD)	
Fire and Explosion Index	50,37
Material Factor (see Material Data tab)	16,00
NFPA Health rating (Nh)	1
NFPA Flammability rating (Nf)	3
NFPA Instability rating (Ni)	0
General Process Hazards	
Base	1
1A Exothermic Reaction (range of input 0.3 - 1.25)	0,00
1B Endothermic Reaction (input range 0.2 - 0.4)	0,00
1C Material Handling and Transfer (input range 0.25 - 0.8)	0,00
Enclosed or Indoor Process or storage Units handling Flammable	
1D materials	0,00
1E Ease of Access for Emergency Responders	0,35
1F Drainage and Spill Control	0,00
General Process Hazards Factor	1,35
Special Process Hazards	
Base	1
2A Toxicity of the material handled.	0,20
2B Process or Storage operates at vacuum (<500mmHg) -penalty 0.5	0,00
2C Operation in or near the flammable range (input range 0.0 - 0.8)	0,30
2D Dust Explosion (input range 0.0 - 2.0)	0,00
2E Pressure Penalty	0,00
2F Low Temperature Operation	0,00
2G1 Combustible and Flammable materials in Process	0,00
2G2 Liquids or gases in Storage	0,63
2G3 Solids in Storage or Process	0,00
2H Corrosion and Erosion (input range 0.0 -0.75)	0,20
2I Leakage, Joints, packing, flexible joints	0,00
2J Use of Fired Equipment (fig 6)	0,00
2K Hot Oil Heat Exchange Equipment (table 5)	0,00
2L Rotating Equipment	0,00
Special Process Hazards Factor	2,33
Fire and Explosion Index	50,37
Level 2 Risk Analysis is not triggered	

6.3 IAEA-TECDOC-727

Prvním krokem byla identifikace všech aktivit s NL v podniku. Seznam aktivit je vidět v následující tabulce. Následovně z nich byly vybrány aktivity pro posouzení metodou IAEA-TECDOC-727. Limity pro výběr aktivit jsou v příloze metodiky v tabulce „Kritéria pro výběr průmyslových činností zahrnutých do studie“. V této metodě je kromě již zavedených scénářů (skladování a stáčení) zahrnuta kategorie transport NL, konkrétně scénář havárie autocisterny v obci v obydlené oblasti a také havárie železniční vlečky v místě nejbližší rezidenční oblasti.

Tabulka 9: Seznam aktivit

AKTIVITA		NEBEZPEČNÁ LÁTKA
Sklad	Zásobníky	Benzín
		Ethanol 85
		FAME OLEO
		Letecký petrolej
		Motorová nafta
		Propan butan
Stáčení	Mobilní cisterna	Benzín
		Ethanol 85
		FAME OLEO
		Letecký petrolej
		Motorová nafta
		Propan butan
Transport	Silnice - autocisterna	Benzín
		Ethanol 85
		FAME OLEO
		Letecký petrolej
		Motorová nafta
		Propan butan
	Železnice - vlečka	Benzín
		Motorová nafta
	Produktovod	Motorová nafta

Z výše uvedených aktivit byly pro studii vybrány následující:

- 1) Veškerá fixní zařízení (sklady), protože splňují kritérium vzdálenosti < 1000 m od rezidenční oblasti
- 2) Veškerá fixní zařízení při procesu stáčení (do mobilních cisteren), protože splňují kritérium vzdálenosti < 1000 m od rezidenční oblasti
- 3) Silniční transport propan butanu, protože autocisterny projíždějí přes zabydlenou oblast ve vzdálenosti k obydlí < 200 m
- 4) Silniční transport benzínu, protože autocisterny projíždějí přes zabydlenou oblast ve vzdálenosti k obydlí < 50 m

V druhém kroku byl na základě kombinace referenčního čísla havárie a množství NL zjištěn zanedbatelný účinek u následujících aktivit/zařízení. Proto pro ně další výpočet zvolenou metodou nebyl doporučený:

- 1) Fixní zásobník s benzínem při scénáři skladování
- 2) Fixní zásobník s ethanolem 85 při scénáři skladování
- 3) Fixní zásobník s ethanolem 85 při scénáři stáčení
- 4) Fixní zásobník s FAME OLEO při scénáři skladování
- 5) Fixní zásobník s FAME OLEO při scénáři stáčení
- 6) Fixní zásobník s leteckým petrolejem při scénáři skladování
- 7) Fixní zásobník s leteckým petrolejem při scénáři stáčení
- 8) Fixní zásobník s motorovou naftou při scénáři skladování

Další výpočty jsou provedeny tedy pouze pro fixní zásobník 5 s propanem butanem v obou scénářích, jak skladování tak stáčení, dále pro scénář stáčení pro fixní zásobník 1 a 4 s benzínem a fixní zásobník 3 s naftou. A také pro silniční transport propan butanu a benzínu. Shrnutí všech kombinací aktivit/zařízení, které budou nadále zahrnuté do studie, jsou k nahlédnutí v následující tabulce, kde je k nim zároveň připřazeno příslušné referenční číslo havárie.

Tabulka 10: Souhrn aktivit a zařízení zahrnutých do studie IAEA-TECDOC-727

ZÁSOBNÍK	LÁTKA	SCÉNÁŘ	REF. ČÍSLO HAVÁRIE
1	Benzín	Stáčení	6
3	Nafta	Stáčení	3
4	Benzín	Stáčení	6
5	Propan butan	Skladování	7
5	Propan butan	Stáčení	9
Autocisterna	Benzín	Transport	6
Autocisterna	Propan butan	Transport	7

Uvažovaná hustota obyvatelstva byla odhadnuta na základě statisticko-demografických údajů obce a rovná se 20ti osobám na hektar. Frekvence plnění a stáčení fixního zásobníku s propan butanem je v intervalu 200 – 500x za rok. Sprinklerový systém, ani jiná bezpečnostní opatření u tohoto zásobníku nebyla uvažována a to z důvodu vyšší porovnatelnosti výsledků s metodou F&EI, ve které nebyly stanovovány kreditní faktory. U přepravy obou NL pomocí autocisteren byla bezpečnost silniční dopravy vyhodnocena jako bezpečná, protože přepravní trasy v okolí podniku na území obce jsou bez velkých křižovatek a obvykle těmito trasami nejsou přepravovány jiné NL z jiných podniků. Frekvence přepravy vychází ze statistických podkladů podniku a odpovídá intervalu 200-500 autocisteren za rok. V následující části je přiložen jeden protokol IAEA-TECDOC-727, souhrnně jsou k nahlédnutí v příloze č. 3.

Tabulka 11: Protokol IAEA-TECDOC-727

PROTOKOL IAEA-TECDOC-727 PRO ZÁSOBNÍK PROPAN BUTANU (SKLADOVÁNÍ) ZDROJ: ZÁSOBNÍK	
Stacionární zdroj: Zásobník s propan butanem, objekt 5, objem 15 000 l, obsah 8,1 t, látka propan butan	
<u>Stanovení ztrát:</u>	
Tabulka II:	benzín (látka), referenční číslo havárie: 7
Tabulka IV a:	od 5 do 10 tun, kategorie následků: B1
Tabulka V:	maximální dosah účinků: 25 – 50 m
	tvár zasažené oblasti: kruhový
	zasažená plocha $A = 0,8$ ha
Tabulka VI:	uvažovaná hustota obyvatelstva:
	$\delta = 20$ osob/ha
Tabulka VII:	korekční faktor na distribuci obyvatelstva pro tvár zasažené oblasti: $f_A = 0,05$
Tabulka VIII:	zeslabující faktor pro referenční číslo 7 je $f_M = 1$
<u>Odhad ztrát:</u>	$C_{a,s} = A \cdot \delta \cdot f_A \cdot f_M = 0,8 \cdot 20 \cdot 0,05 \cdot 1 = 0,8$ osob
<u>Stanovení frekvence výskytu:</u>	
Tabulka IX:	základní pravděpodobnostní číslo $N^* = 7$
Tabulka X:	frekvence přečerpávání je kontinuální x/rok
	$n_l = 0$
Tabulka XI:	Korekce na hořlavost
	$n_f = 0$
Tabulka XII:	korekce na org. zajištění bezpečnosti
	$n_o = 0$
Tabulka XIII:	Korekce na směr větru pro tvár zasažené oblasti
	$n_p = 0$
Korigovaná hodnota pravděpodobnostního čísla:	
	$N = N^* + n_l + n_f + n_o + n_p = 7 + 0 + 0 + 0 + 0 = 7$
Tabulka XIV: Odpovídající hodnota frekvence výskytu:	
	$P = 1 \cdot 10^{-7}$ případů za rok

Následuje rekapitulace výpočtů odhadu ztrát a stanovení frekvence výskytu havárie pro všechny tři uvažované scénáře.

Odhad vnějších následků případné havárie byl vypočítán podle následující rovnice:

$$C_{a,s} = A \cdot \delta \cdot f_A \cdot f_M \quad (2)$$

Kde:

$C_{a,s}$ - následky (počet smrtelných zranění/událost)

A - zasažená plocha (v hektarech , 1 ha = 104m²)

δ - hustota populace v zalidněné oblasti uvnitř ovlivněné oblasti (počet obyvatel / ha)

f_A - korekční faktor na distribuci lidí v zasažené oblasti

f_M - korekční faktor zahrnující zmírnění následků

Stanovení frekvence výskytu havárie pro fixní zdroj rizika byl vypočten podle vzorce:

$$N_{i,s} = N^*_{i,s} + n_l + n_f + n_o + n_p \quad (3)$$

Kde :

$N^*_{i,s}$ = střední hodnota pravděpodobnostního čísla pro určitou aktivitu a látku

n_l = oprava (korekce) podle frekvence plnění /stáčení zdroje

n_f = korekce na bezpečnostní systémy použité pro hořlavou látku

n_o = korekce zahrnující organizační opatření a řízení bezpečnosti

n_p = korekce zahrnující vliv směru větru s ohledem na polohu obydlené oblasti

Pro stanovení frekvence nehod při přepravě NL byl použit následující vzorec:

$$N_{t,s} = N^*_{t,s} + n_c + n_t + n_p \quad (4)$$

Kde:

$N^*_{t,s}$ = střední hodnota pravděpodobnostního čísla pro přepravu substance

n_c = korekční faktor zohledňující bezpečnostní podmínky přepravy

n_t = korekční faktor zohledňující hustotu přepravy

n_p = korekční faktor zohledňující vliv směru větru s ohledem na polohu obydlených oblastí

1) Zásobník benzínu (stáčení)

Stacionární zdroj: Zásobník s benzínem, objekt 1, objem 120 000 l, obsah 88 t, látka benzín

Odhad ztrát: $C_{a,s} = A \cdot \delta \cdot f_A \cdot f_M$

$$C_{a,s} = 1,5 \cdot 20 \cdot 0,1 \cdot 1 = \mathbf{3 \text{ osoby}}$$

Stanovení frekvence výskytu: $N_{i,s} = N^*_{i,s} + n_l + n_f + n_o + n_p$

$$N_{i,s} = 6 + 0 + 0 + 0 + 0,5 = 6,5$$

Odpovídající hodnota frekvence výskytu: $P = 3 \cdot 10^{-7}$ případů za rok

2) Zásobník nafty (stáčení)

Stacionární zdroj: Zásobník s naftou, objekt 3, objem 160 000 l, obsah 80,64 t, látka nafta

Odhad ztrát: $C_{a,s} = A \cdot \delta \cdot f_A \cdot f_M$

$$C_{a,s} = 0,8 \cdot 20 \cdot 0,05 \cdot 1 = \mathbf{0,8 \text{ osoby}}$$

Stanovení frekvence výskytu: $N_{i,s} = N^*_{i,s} + n_l + n_f + n_o + n_p$

$$N_{i,s} = 6 + 0 + 0 + 0 + 0 = 6$$

Odpovídající hodnota frekvence výskytu: $P = 1 \cdot 10^{-7}$ případů za rok

3) Zásobník benzínu (stáčení)

Stacionární zdroj: Zásobník s benzínem, objekt 4, objem 120 000 l, obsah 88 t, látka benzín

Odhad ztrát: $C_{a,s} = A \cdot \delta \cdot f_A \cdot f_M$

$$C_{a,s} = 1,5 \cdot 20 \cdot 0,1 \cdot 1 = \mathbf{3 \text{ osoby}}$$

Stanovení frekvence výskytu: $N_{i,s} = N^*_{i,s} + n_l + n_f + n_o + n_p$

$$N_{i,s} = 6 + 0 + 0 + 0 + 0,5 = 6,5$$

Odpovídající hodnota frekvence výskytu: $P = 3 \cdot 10^{-7}$ případů za rok

4) Zásobník propan butanu (skladování)

Stacionární zdroj: Zásobník s propan butanem, objekt 5, objem 15 000 l, obsah 8,1 t, látka propan butan

Odhad ztrát: $C_{a,s} = A \cdot \delta \cdot f_A \cdot f_M$

$$C_{a,s} = 0,8 \cdot 20 \cdot 0,05 \cdot 1 = \mathbf{0,8 \text{ osoby}}$$

Stanovení frekvence výskytu: $N_{i,s} = N^*_{i,s} + n_l + n_f + n_o + n_p$

$$N_{i,s} = 6 + 0 + 0 + 0 + 0 = 7$$

Odpovídající hodnota frekvence výskytu: $P = 1 \cdot 10^{-7}$ případů za rok

5) Zásobník propan butanu (stáčení)

Stacionární zdroj: Zásobník s propan butanem, objekt 5, objem 15 000 l, obsah 8,1 t, látka propan butan

Odhad ztrát: $C_{a,s} = A \cdot \delta \cdot f_A \cdot f_M$

$$C_{a,s} = 0,3 \cdot 20 \cdot 1 \cdot 1 = \mathbf{6 \text{ osob}}$$

Stanovení frekvence výskytu: $N_{i,s} = N^*_{i,s} + n_l + n_f + n_o + n_p$

$$N_{i,s} = 6 - 1 + 0 + 0 + 1,5 = 6,5$$

Odpovídající hodnota frekvence výskytu: $P = 3 \cdot 10^{-7}$ případů za rok

6) Silniční přeprava benzínu

Mobilní zdroj: Automobilová cisterna s benzínem, plnicí dávky objem 16 000 l, obsah 11,84 t, látka benzín

Odhad ztrát: $C_{a,s} = A \cdot \delta \cdot f_A \cdot f_M$

$$C_{a,s} = 0,4 \cdot 20 \cdot 1 \cdot 1 = \mathbf{8 \text{ osob}}$$

Stanovení frekvence výskytu: $N_{t,s} = N^*_{t,s} + n_c + n_t + n_p$

$$N_{t,s} = 8,5 - 1 - 2,5 + 0 = 5$$

Odpovídající hodnota frekvence výskytu: $P = 1 \cdot 10^{-5}$ případů za rok

7) Silniční přeprava propan butanu

Mobilní zdroj: Automobilová cisterna s propan butanem, plnicí dávka objem 25 000 l, obsah 13,5 t, látka propan butan

Odhad ztrát: $C_{a,s} = A \cdot \delta \cdot f_A \cdot f_M$

$$C_{a,s} = 3 \cdot 20 \cdot 1 \cdot 1 = \mathbf{60 \text{ osob}}$$

Stanovení frekvence výskytu: $N_{t,s} = N^*_{t,s} + n_c + n_t + n_p$

$$N_{t,s} = 9,5 - 1 - 2,5 + 0 = 6$$

Odpovídající hodnota frekvence výskytu: $P = 1 \cdot 10^{-6}$ případů za rok

Z provedených výpočtů je zřejmé, že nejzávažnější dopad by měla havárie automobilové cisterny při přepravě propan butanu, pokud by havarovala právě při průjezdu obydlenou oblastí. Výše takového dopadu je odhadnuta na 60 usmrcených osob. Takováto skutečnost je odhadnuta s pravděpodobností vzniku jednou na $1 \cdot 10^{-6}$ /rok, tedy jednou za milardu let. Havárie automobilové cisterny s benzínem by dosahovala následku úmrtí 8 osob a to s frekvencí výskytu havárie jednou za sto milionu let.

Havárie při stáčení propan butanu by způsobila následky ve výši 6 usmrcených osob s pravděpodobností vzniku havárie třikrát za deset milionů let. Následky a pravděpodobnosti havárie fixního zásobníku s propan butanem při scénáři skladování a scénáři stáčení nafty ze zásobníku jsou totožné a to v rozsahu 0,8 usmrcených osob s frekvencí havárie jednou za deset milionů let. Scénář havárie při stáčení benzínu z obou vybraných zásobníků je odhadnut s dopadem ve výši 3 usmrcených osob a to třikrát za deset milionů let.

Získané výsledky jsou pro přehlednost zaneseny do následující tabulky. Je tedy zřejmé, že havárie autocisterny při přepravě propan butanu má nejvyšší následky. Celkem 60 usmrcených osob pro obec, vzhledem k její charakteristice, představuje opravdu příliš vysoký dopad. Následně na další stránce se nachází matice získaných výsledků, ze které je zřejmá kombinace obou odhadnutých faktorů.

Tabulka 12: Výsledky metody IAEA-TECDOC-727

ČÍSLO SCÉNÁŘE	SCÉNÁŘ	ZTRÁTY	PRAVDĚPODOBNOST
1	Benzín (stáčení)	3 osoby	$3 \cdot 10^{-7}$
2	Nafta (stáčení)	0,8 osob	$1 \cdot 10^{-7}$
3	Benzín (stáčení)	3 osoby	$3 \cdot 10^{-7}$
4	Propan butan (skladování)	0,8 osob	$1 \cdot 10^{-7}$
5	Propan butan (stáčení)	6 osob	$3 \cdot 10^{-7}$
6	Benzín (transport)	8 osob	$1 \cdot 10^{-5}$
7	Propan butan (transport)	60 osob	$1 \cdot 10^{-6}$

Tabulka 13: Matice výsledků metody IAEA-TECDOC-727

$3 \cdot 10^{-5}$						
$1 \cdot 10^{-5}$				6		
$3 \cdot 10^{-6}$						
$1 \cdot 10^{-6}$						7
$3 \cdot 10^{-7}$		1,3		5		
$1 \cdot 10^{-7}$	2,4					
P / N	1	3	5	10	30	60

Matice rizik byla pro účely zobrazení kombinace obou faktorů přizpůsobena získaným výsledkům. Vzhledem k charakteristice práce a důrazu kladeného na ochranu okolního obyvatelstva je faktor následků posuzován přísněji než pravděpodobnost vzniku havárie. Matice je rozdělena následujícími hranicemi. Zelená oblast ohraničuje riziko přijatelné, žlutá je oblast snižování rizika a červená oblast značí riziko nepřijatelné. Matici bylo nutno přizpůsobit získaným výsledkům a hranice přijatelnosti posunout, v tomto případě oproti doporučeným limitům snížit.

Do kategorie přijatelného rizika spadají scénáře č. 1, 2, 3 a 4, jedná se o proces stáčení benzínu, nafty a skladování propan butanu. Tyto scénáře nepřesahují hranici 5 mrtvých osob s frekvencí $3 \cdot 10^{-7}$ /rok. Scénáře č. 5 a 6, tedy proces stáčení propan butanu z fixního zásobníku a havárie autocisterny s benzínem při transportu obcí, spadají do oblasti snižování rizika a zároveň nepřesahují hranici 10 mrtvých osob v intervalu $1 \cdot 10^{-5}$ /rok. Jako nejhorší scénář se jednoznačně jeví scénář č. 7 a to havárie autocisterny s propan butanem při průjezdu obcí. Následky jsou odhadnuty ve výši 60 mrtvých osob s pravděpodobností $1 \cdot 10^{-6}$ /rok.

6.4 SHRNUÍ METOD

Výsledky získané postupnou aplikací uvedených metod jsou shrnuty do následující tabulky. Každá metoda je typická svou odlišnou formou výstupu.

Tabulka 14: Shrnutí výstupů metod

METODA	VYBRANÁ JEDNOTKA	LÁTKA	SCÉNÁŘ	VÝSLEDEK	
Metoda výběru	1	Benzín	Stáčení	Vybraná pro QRA analýzu	
	3	Nafta	Stáčení		
	4	Benzín	Stáčení		
	5	Propan butan	Stáčení		
Fire and Explosion Index	1	Benzín	Stáčení	F&EI = 154,70	
	4	Benzín	Stáčení	F&EI = 154,70	
	5	Propan butan	Stáčení	F&EI = 167,19	
IAEA-TECDOC-727	1	Benzín	Stáčení	N = 3 osoby	$P = 3 \cdot 10^{-7}$
	3	Nafta	Stáčení	N = 0,8 osob	$P = 1 \cdot 10^{-7}$
	4	Benzín	Stáčení	N = 3 osoby	$P = 3 \cdot 10^{-7}$
	5	Propan butan	Sklad	N = 0,8 osob	$P = 1 \cdot 10^{-7}$
	5	Propan butan	Stáčení	N = 6 osob	$P = 3 \cdot 10^{-7}$
	Autocisterna	Benzín	Transport	N = 8 osob	$P = 1 \cdot 10^{-5}$
		Propan butan	Transport	N = 60 osob	$P = 1 \cdot 10^{-6}$

Jak je z tabulky zřejmé, všechny aplikované metody souhrnně upozornily na závažné riziko při havárii jednotek 1, 4 a 5 při procesu stáčení látky ze zásobníku. Metodou IAEA-TECDOC-727 bylo navíc posuzované riziko havárie autocisterny projíždějící přilehlou obcí. Výsledky aplikace této metody jednoznačně upozorňují na vysoký dopad při havárii autocisterny převážející propan butan. Scénáře a jednotky, které nebyly posuzované, nesplňovaly minimální vstupní požadavky pro aplikaci metody anebo byly z metody v prvních krocích vyřazeny pro jejich zanedbatelný dopad.

Výstup metody výběru je charakteristický tím, že poukazuje pouze na jednotky, u kterých má smysl provádět podrobnější analýzu. Takovýto princip je časově i ekonomicky výhodný, protože významně omezí počet detailně hodnocených zařízení v podniku a zjednoduší tak celou analýzu. Metoda posuzuje míru skutečné nebezpečnosti každé nezávislé jednotky na základě informací o množství, vlastnostech nebezpečných látek a údajích o provozních podmínkách, při kterých je látka skladována či provozována. Druhým faktorem, který metoda posuzuje, je vzdálenost každé selektované jednotky od hranice podniku a rezidenční oblasti. Výsledkem metody je tedy výčet jednotek, u kterých je doporučena podrobnější QRA. Pro podrobnější QRA analýzu selektovala metoda výběru jednotky č. 1, 3, 4 a 5, vždy pouze ve scénáři stáčení. U těchto jednotek bylo selektivní číslo vyšší než 50% maximálního selektivního čísla a zároveň >1 v posuzovaném bodě.

Metoda Fire and Explosion Index se soustřeďuje především na prostředí podniku a ekonomický aspekt při vzniku havárie či poruše zařízení. Metoda uvažuje pouze látky hořlavé a reaktivní. Pro účely této práce byla zpracovávána pouze ta část, jejíž výstupem je hodnota indexu, který lze jednoduchou matematickou operací převést na poloměr zasažené oblasti v případě požáru vybrané jednotky. Ekonomická část metody nebyla zpracována. Jednotky č. 1, 4 a 5 přesahují stanovenou spodní hranici hodnoty F&EI, pro kterou je doporučené další, podrobnější, posouzení rizika.

Naprostě charakteristický výstup metody IAEA-TECDOC-727 ve formě kombinace faktoru následků a pravděpodobnosti poukazuje na přístup metody k hodnocení havárií. Metoda velmi systematicky pomocí několika dílčích kroků odhaduje následky závažné havárie, přičemž uvažuje scénář skladování, stáčení i transportu. Zásobníky rozděljuje právě na fixní a mobilní. Je tedy nasnadě tuto metodu aplikovat i na scénář havárie cisterny při transportu NL jak po silnici, tak železnici i vodě. Druhým odhadovaným faktorem je pravděpodobnost (frekvence). Hodnocení pravděpodobnosti vzniku havárie je opět založeno na systematickém postupu pomocí několik dílčích kroků. Výsledky této metody poskytují nejvíce informací o potenciální havárii. Kromě zmíněných je odhadnut i maximální dosah účinků, tvar zasažené oblasti a zasažená plocha. Metoda upozornila na významné riziko při stáčení látek z jednotek č. 1, 3, 4 a 5, navíc i na riziko při skladování propan butanu v jednotce č. 5 a při transportu benzínu a propan butanu. Poslední zmíněné vyhodnotila s nejvyšším dopadem, odhad následků je ve výši 60 usmrcených osob.

7 DOPORUČENÝ POSTUP ANALÝZY RIZIK

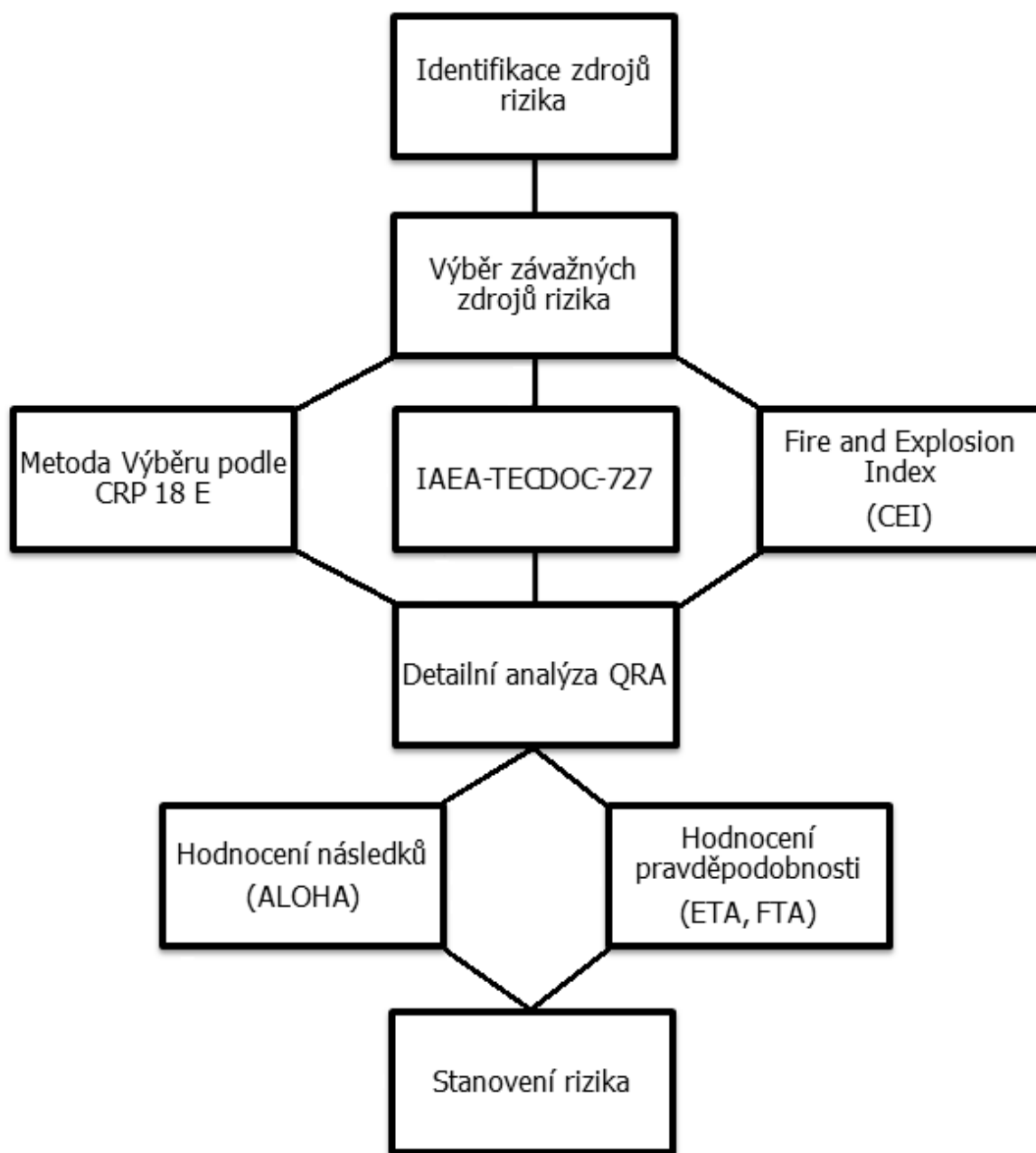
Postup analýzy rizik navržený pro průmyslové podniky podobného typu jako je vybraný podnik vychází z kostry platné metodiky MŽP z roku 2000 pro hodnocení rizik za účelem zpracování bezpečnostního programu. Navržený postup je také v souladu s požadavky zákona o prevenci závažných havárií na zpracování bezpečnostní zprávy.

Prvním krokem je identifikace zdrojů rizika. V průmyslovém podniku tohoto typu budou uvažovány všechny zdroje rizika v souvislosti se skladováním, přečerpáváním anebo transportem NL. Jedná se tedy o různé zásobníky, tanky, nádrže, mobilní cisterny a podobně. Z této škály potenciálních zdrojů závažných havárií je žádoucí vybrat ty, u kterých by dopad jejich případné havárie znatelně ovlivnil chráněné zájmy. Takto se děje v druhém kroce navržené analýzy rizik, tedy při výběru závažných zdrojů rizika. Dalším krokem je aplikace metod za účelem získání kvantitativního výsledku odhadu rizik. Pro podniky podobného typu jako je analyzovaný podnik je navržena Metoda výběru, IAEA-TECDOC-727, Fire and Explosion index (případně Chemical Exposure Index). Výsledky těchto metod jednoznačně poukážou na jednotku/jednotky, které vyžadují další, podrobnější, kvantitativní analýzu rizik (QRA). Výstupem z QRA je stanovení individuálního a společenského rizika při havárii analyzované jednotky. Práce navrhuje použití zobrazovacího modelovacího programu ALOHA pro modelování následků havárie a tedy co nejpřesnější odhad následků, počtu mrtvých osob, v kombinaci s metodami Strom událostí ETA anebo Strom poruch FTA pro získání údaje o pravděpodobnosti (frekvenci) vzniku takové havárie. Právě tyto získané údaje jsou nutné pro stanovení rizika.

Navazujícím krokem, který ovšem není do navrženého postup analýzy rizik zapracovaný, je stanovení přijatelnosti rizika. Touto problematikou se zabývá například Purple Book, podle níž je limitní hodnota přijatelného rizika vyjádřena následujícím vztahem:

$$F = \frac{10^{-3}}{N^2} \text{ platí pro } N \geq 10 \quad (5)$$

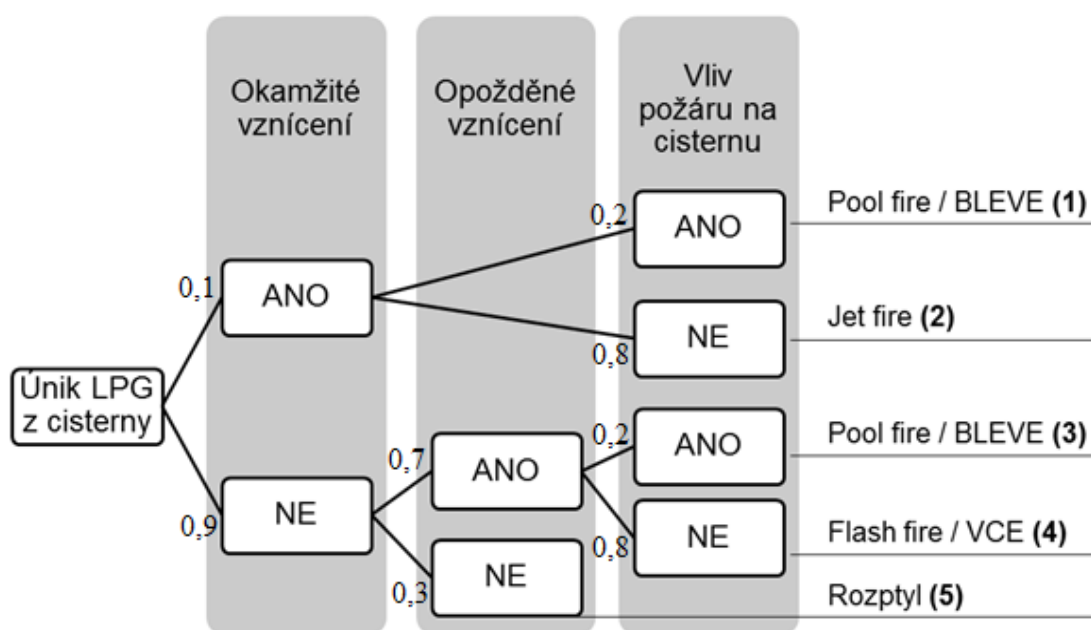
Hranice přijatelnosti rizika každý podnik přizpůsobí svému provozu v souvislosti s charakteristikou podniku. Rozhodující faktor pro stanovení přijatelnosti rizika je taková výše dopadu havárie, která by podnik anebo jeho část vyřadila z provozu a ekonomické důsledky vyplývající z dané situace by byly pro podnik likvidační.



Obrázek 7: Navržený postup analýzy rizik

Pro účely stanovení rizika nejzávažnější havárie byl podrobnější QRA podroben scénář transportu propan butanu automobilovou cisternou. Pro získání co nejpřesnějších hodnot pravděpodobnosti vzniku jednotlivých možných scénářů při havárii autocisterny byla zvolena metoda Strom událostí ETA. Vstupní údaje jsou získány výše provedenými výpočty, konkrétně aplikací metody IAEA-TECDOC-727. Pro stanovení výše dopadu byly potřebné vstupní údaje zadány do programu ALOHA a následně vizualizací rozsahu dopadů jednotlivých scénářů při havárii autocisterny byla co nejpřesněji odhadnuta výše dopadu na obyvatelstvo vyjádřená v našem případě počtem mrtvých osob.

Automobilová cisterna s propan butanem s objemem plnicí dávky 25 000 l, obsahem 13,5 t projíždí osídlenou částí obce. Při poškození autocisterny dojde k úniku LPG na betonovou plochu a rozlije se do okolí. V okolí havárie je rezidenční území o hustotě asi 20 osob/ha. Pravděpodobnost vzniku havárie úniku LPG z cisterny je $1 \cdot 10^{-6}$ /rok. Pravděpodobnosti jednotlivých možných scénářů při výše popsané havárii byly odhadnuty metodou stromu událostí (ETA).



Obrázek 8: Strom událostí ETA

Výše uvedenou metodou byly vypočteny následující pravděpodobnosti vzniku jednotlivých možných scénářů. Při okamžitém vznícení vytečené látky z autocisterny by vznikl požár typu pool fire a jeho vliv na autocisternu se zbylou NL by způsobil výbuch typu BLEVE. Pravděpodobnost vzniku tohoto scénáře je $4 \cdot 10^{-8}$ /rok. Požár typu jet fire vzniklý okamžitým vznícením vytékající látky by neměl vliv na samotnou autocisternu a pravděpodobnost vzniku takového požáru je $6 \cdot 10^{-8}$ /rok. Pokud by došlo k opožděnému vznícení vytečené látky a požár by měl vliv na autocisternu, tak výbuch typu BLEVE v tomto případě je odhadnut s pravděpodobností $2,52 \cdot 10^{-7}$ /rok. Při opožděném vznícení vytečené látky bez dopadu na cisternu by došlo k požáru typu flash fire, následně k možné explozi mraku par a to s pravděpodobností $3,78 \cdot 10^{-7}$ /rok. Posledním možným scénářem je pouhý rozptyl látky, bez jejího vznícení, výbuchu a jiném vlivu na autocisternu s odhadnutou frekvencí $2,7 \cdot 10^{-7}$ /rok.

Tabulka 15: Frekvence vzniku jednotlivých scénářů ETA

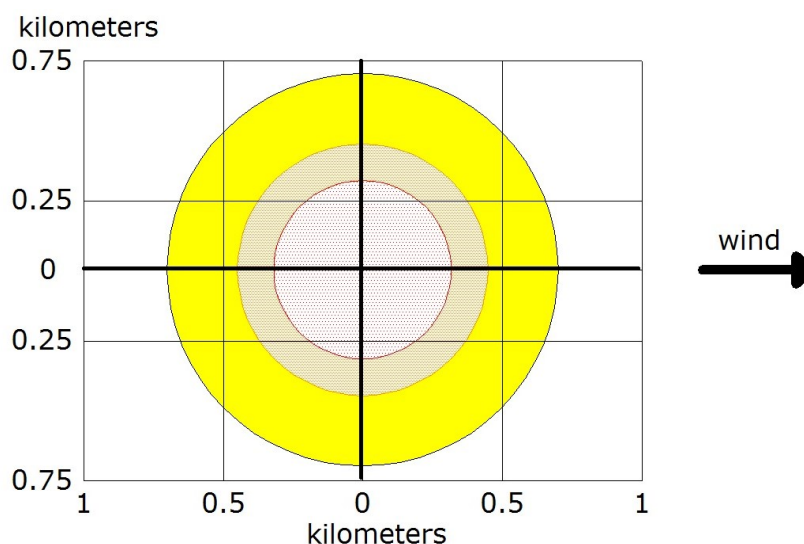
SCÉNÁŘ	POPIS	KOMENTÁŘ	FREKVENCE /rok
1	Pool fire/BLEVE	Vlivem okamžitého vznícení s dopadem požáru na cisternu	$f = 4 \cdot 10^{-8}$
2	Jet fire	Vlivem okamžitého vznícení bez dopadu požáru na cisternu	$f = 6 \cdot 10^{-8}$
3	Pool fire/BLEVE	Vlivem opožděného vznícení s dopadem požáru na cisternu	$f = 2,52 \cdot 10^{-7}$
4	Flash fire/VCE	Vlivem opožděného vznícení bez dopadu požáru na cisternu	$f = 3,78 \cdot 10^{-7}$
5	Rozptyl	Rozptýlení látky bez vznícení a bez dopadu na cisternu	$f = 2,7 \cdot 10^{-7}$

Druhým nezbytným krokem pro následné stanovení rizika je získání údaje o následcích havárie, tedy o počtu mrtvých osob v okolí havárie. Následky tří uvažovaných scénářů – výbuch typu BLEVE, požár typu jet fire a výbuch typu VCE by měly následující dopad.

Tabulka 16: Odhad následků ALOHA

TYP SCÉNÁŘE	POLOMĚR ZASAŽENÉ OBLASTI [m]			POČET MRTVÝCH
	Smrtelná oblast	Zraňující oblast	Ohrožená oblast	
BLEVE	318	449	700	62
Jet fire	46	65	101	15
VCE	90	119	338	9

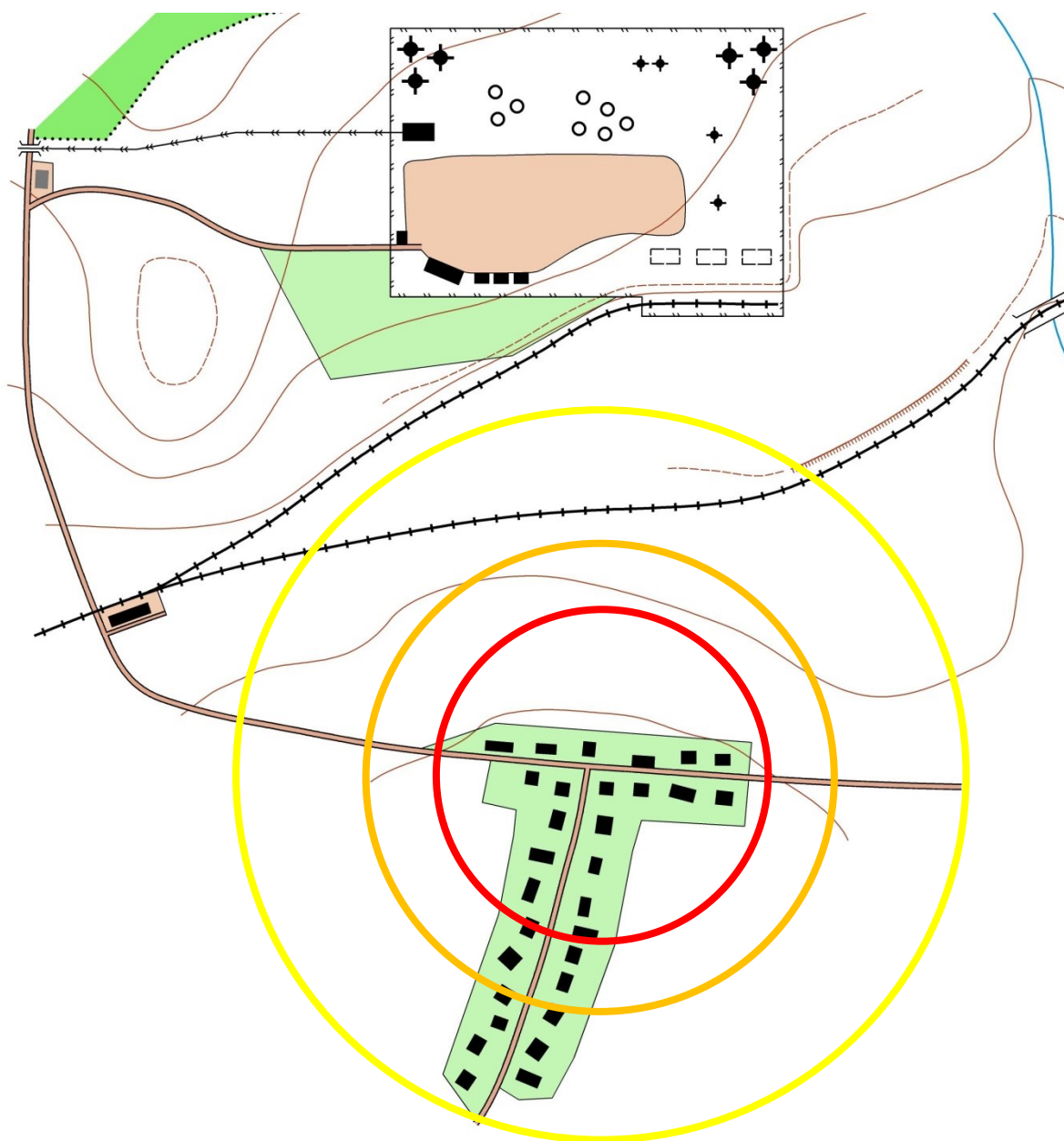
Na následujícím obrázku je k vidění výřez z grafického výstupu z metody ALOHA při modelování scénáře BLEVE. Textový i grafický výstup všech tří scénářů je k nahlédnutí v příloze č. 4.



Obrázek 9: Model výbuchu propan butanu

V případě BLEVE a jet fire červená oblast ohraničuje prostor se 100% smrtícím účinkem havárie. V této oblasti je tedy odhadovaná 100% úmrtnost obyvatelstva. Oranžová oblast označuje prostor, ve kterém by během 60s bezprostředně po vzniku výbuchu/požáru obyvatelstvo utrpělo popáleniny druhého stupně. Poslední, žlutá barva, označuje oblast, ve které by obyvatelstvo utrpělo zranění. Tyto barevné oblasti v případě scénáře VCE označují výbušnost mraku par uniklého propan butanu. V červené oblasti je výbušnost 100%, v oranžové 60% a ve žluté 10%.

Na následujícím obrázku jsou výsledky získané modelací havárie autocisterny programem ALOHA aplikované přímo na vybranou obec, kterou autocisterna projíždí. Scénář, při kterém dojde k výbuchu typu BLEVE má jednoznačně nejvyšší dopad a proto byl použit pro následující vizualizaci. Červeně je vyznačená oblast se 100% smrtícím účinkem havárie, oranžová označuje oblast, ve které by obyvatelstvo utrpělo popáleniny druhého stupně a žlutou barvou je ohraničený prostor, uvnitř kterého by zasažené obyvatelstvo utrpělo drobná poranění.



Obrázek 9: Model zasažené obce výbuchem typu BLEVE

ZÁVĚR

Práce měla za primární cíl kvantifikovat technologická rizika ve vybraném podniku. Aplikací pečlivě vybraných metod byly selektovány ty jednotky, které vyžadují podrobnější analýzu. Ostatní jednotky, které nebyly pro podrobnější hodnocení doporučeny, nesplňovaly buď minimální množství látky pro aplikaci metody anebo dopady jejich havárií by byly natolik zanedbatelné, že nepodléhaly potřebě podrobnějšího zkoumání. Všechny aplikované metody shodně upozornily na vyšší riziko u jednotek č. 1, 4 a 5 při procesu stáčení látky například do přistavené autocisterny. Jednotky č. 1 a 4 jsou shodné, obsahují benzín, každá o objemu 120 000 l (88 t). Jednotka č. 5 obsahuje 15 000 l (8,1 t) propan butanu ve zkapalněném stavu. Dopady havárií těchto jednotek by měly fatální následky pro část zaměstnanců podniku, rezidenční oblast není v ohrožení. Nad rámec hranice podniku bylo hodnoceno riziko havárie autocisterny s benzínem a propan butanem projíždějící přilehlou obcí. Větší dopad na okolní obyvatelstvo by měla havárie autocisterny převážející propan butan, rozsah dopadu byl odhadnut ve výši 60 usmrcených obyvatel. Vizualizace dopadu havárie autocisterny s propan butanem byla podpořena programem ALOHA ve třech možných scénářích, dopad při výbuchu typu BLEVE, při explozi par VCE a požár jet fire při vznícení vytékající látky z autocisterny. Nejrozsáhlejší dopad na okolní obyvatelstvo by byl při explozi typu BLEVE.

Přínosem práce je možnost jejího využití pro podniky podobného typu a velikosti. Právě pro ně práce navrhuje doporučený postup analýzy rizik, který je v souladu s platnou legislativou a splňuje tak požadavky na zpracování bezpečnostní dokumentace podniku. Výstup z navržené analýzy rizik jednoznačně vymezí ta technologická rizika, která je nezbytné snižovat za účelem redukce závažných havárií a jejich dopadů. Práce prokazuje, že se i v relativně malém podniku operujícím s nevelkým množstvím nebezpečných látek vyskytují taková rizika, která by měla fatální dopad na zaměstnance podniku. Při průjezdu autocisterny s nebezpečnou látkou obcí by v nejhorším uvažovaném scénáři dopad na obyvatelstvo v okolí havárie postihl významnou část obydlené oblasti.

Tato diplomová práce může sama svým obsahem sloužit také jako prostředek ke zvýšení informovanosti veřejnosti o technologických rizicích nacházejících se v podnicích v blízkosti jejich bydlíšť a rizicích spojených s přepravou nebezpečných látek. Dále práce nabízí příležitost využít stručně a přehledně zpracovanou teoretickou část jako podklad ke

studiu problematiky studentům oborů podobného zaměření a jako opora pro ujasnění si základních pojmů.

Je tedy zřejmé, že odborně a pravidelně prováděná analýza rizik, dodržování legislativy, aplikace preventivních opatření a další investice do snižování rizika jednoznačně přispívají ke snižování pravděpodobnosti vzniku závažné havárie, anebo snižování dopadů na podnik a především na jeho okolí, zejména okolního obyvatelstva. Ochrana obyvatelstva žijícího v okolí takovýchto podniků nesmí být podceňována a měla by být zajišťována všemi dostupnými prostředky.

Práce nechává otevřenou problematiku konkrétních návrhů opatření na snížení rizika u vybraných jednotek. Tato problematika je natolik rozsáhlá, že její podrobné zpracování přesahuje hranice této práce. Selektce jednotek byla v práci provedena a taktéž byla dokázána jejich nebezpečnost. Ke každé vybrané jednotce je doporučeno zpracovat návrh vhodných preventivních opatření, ať organizačního či technického rázu. Nejen jejich následná aplikace, ale především dodržení všech doporučených postupů jednoznačně přispěje ke snížení existujících technologických rizik v podniku. Posouzení přijatelnosti rizik, respektive stanovení hranice přijatelného a nepřijatelného rizika, si každý podnik přizpůsobí v souvislosti s charakteristikou provozu.

ZDROJE A LITERATURA

- [1] Zákon o prevenci závažných havárií. In: 59/2006. Dostupné z:
[http://portal.gov.cz/app/zakony/download?idBiblio=62168&nr=59~2F2006~20Sb.
&ft=pdf](http://portal.gov.cz/app/zakony/download?idBiblio=62168&nr=59~2F2006~20Sb.&ft=pdf)
- [2] BOŽEK, František. *Management rizika*. 1. vydání. Brno: Univerzita obrany, 2008. ISBN 978-80-7231-259-7.
- [3] BERNATÍK, Aleš. *Prevence závažných havárií II*. 1. vydání. Ostrava: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2006. ISBN 80-86634-90-6. Dostupné z: <http://www.fbi.vsb.cz/export/sites/fbi/050/.content/sys-cs/resource/PDF/studijni-materialy/skripta-PZH-II.pdf>
- [4] SMEJKAL, Vladimír a Karel RAIS. *Řízení rizik ve firmách a jiných organizacích*. 4., aktualiz. a rozš. vyd. Praha: Grada, 2013, 483 s. Expert (Grada). ISBN 978-80-247-4644-9.
- [5] FORINT, Pavel. Nová legislativa v prevenci závažných havárií. In: *Sborník příspěvků z konference: Ochrana obyvatelstva - Nebezpečné látky 2015*. Ostrava: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2015, 49 - 51. ISBN 978-80-7385-158-3 ISSN 1803-7372.
- [6] Zákon o krizovém řízení. In: 240/2000. Dostupné z:
[http://portal.gov.cz/app/zakony/download?idBiblio=49557&nr=240~2F2000~20Sb.
&ft=pdf](http://portal.gov.cz/app/zakony/download?idBiblio=49557&nr=240~2F2000~20Sb.&ft=pdf)
- [7] Zákon o chemických látkách a chemických směsích a o změně některých zákonů (chemický zákon). In: 350/2011. Dostupné z:
[http://portal.gov.cz/app/zakony/download?idBiblio=75352&nr=350~2F2011~20Sb.
&ft=pdf](http://portal.gov.cz/app/zakony/download?idBiblio=75352&nr=350~2F2011~20Sb.&ft=pdf)
- [8] TIXIER, J., G. DUSSE, O. SALVI, D. GASTON, Marcus GONCALVES, Raj HEDA, Fabrizio PAOLACCI, Renato GIANNINI a Maurizio DE. Review of 62 risk analysis methodologies of industrial plants. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* [online]. 2002, vol. 15, issue 4, s. 291-331 [cit. 2015-02-23]. DOI: 10.5772/38365
- [9] BERNATÍK, Aleš. *Studie hodnocení podlimitních zdrojů rizik*. Ostrava, 2006. Signatura: 200803319. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/10084/68419>. Habilitační práce. Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava.

- [10] Committee for the Prevention of Disasters: *Guidelines for Quantitative Risk Assessment (Purple Book CPR 18E)*. Hague, 1999. ISBN 90 – 12 – 8796 - 1.
- [11] BABINEC, František. *Bezpečnostní inženýrství*. Učební text. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2000.
- [12] VLČEK, Zdeněk. *Posouzení bezpečnosti průmyslového komplexu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010,
- [13] *Fire & explosion index: hazard classification guide*. 5th ed. New York, N.Y.: American Institute of Chemical Engineers, c1981, 57 p. ISBN 0816901945.
- [14] *Index požáru a výbuchu: Příručka pro klasifikaci nebezpečí*. 7. Vydání. Leden 1994.
- [15] *IAEA TEC-DOC 727: Zkrácená příručka pro klasifikaci a priorizaci rizik velkých havárií v procesním a příbuzném průmyslu*. Mezinárodní agentura pro atomovou energii. Dostupné z: <http://www.risk-management.cz/clanky/prirucka-pro-klasifikaci-a-priorizaci-rizik-velkych-havarii-v-procesnim-a-pribuznem-prumyslu.pdf>
- [16] *IAEA TEC-DOC 727: Manual for the classification and prioritization of risks due to major accidents in process and related industries*. International atomic energy agency. Dostupné z: http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/te_727r1_web.pdf
- [17] ŘÍMAN, Radovan, Petr SKŘEHOT, Jan BUMBA a Vilém SLUKA. *VÝZKUMNÝ ÚSTAV BEZPEČNOSTI PRÁCE. ALOHA V PRAXI: případová studie havárie cisterny přepravující nebezpečnou chemickou látku*. Praha, 2007. ISBN 978-80-86303-11-6. Dostupné z: <http://www.cbks.cz/upice2007/126.pdf>
- [18] BARTA, Jiří a Tomáš LUDÍK. *ALOHA – modelování a simulace: (Studijní pomůcka pro předmět KRIZOVÉ SCÉNÁŘE)*. Brno: Univerzita obrany, 2012. Dostupné z: https://moodle.unob.cz/pluginfile.php/26279/mod_resource/content/1/Studijni_pomucka_Aloha.pdf
- [19] National Oceanic and Atmospheric Administration, U.S. Environmental Protection Agency. *ALOHA: Example Scenarios*. 2013. Dostupné z: http://response.restoration.noaa.gov/sites/default/files/ALOHA_Examples.pdf

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Vztah mezi zdrojem hrozby, hrozbou a rizikem	6
Obrázek 2: Vztah mezi hodnocením a analýzou rizik [9]	7
Obrázek 3: Náčrt podniku	22
Obrázek 4: Mapa podniku a okolí	24
Obrázek 5: Nezávislé jednotky, Metoda výběru	26
Obrázek 6: Nezávislé jednotky, Fire and Explosion Index	31
Obrázek 7: Navržený postup analýzy rizik	46
Obrázek 8: Strom událostí ETA	47
Obrázek 9: Model zasažené obce výbuchem typu BLEVE	50

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Dílčí metody analýzy rizik	10
Tabulka 2: Stupnice kvalitativní metody	11
Tabulka 3: Srovnání kvalitativních a kvantitativních metod	12
Tabulka 4: Souhrn nebezpečných látek v podniku	23
Tabulka 5: Informace o nebezpečných látkách	25
Tabulka 6: Informace o jednotkách, Metoda výběru	27
Tabulka 7: Výsledky metody Fire and Explosion Index	32
Tabulka 8: Formulář Fire and Explosion Index	33
Tabulka 9: Seznam aktivit	34
Tabulka 10: Souhrn aktivit a zařízení zahrnutých do studie IAEA-tecdoc-727	36
Tabulka 11: Protokol IAEA-TECDOC-727	37
Tabulka 12: Výsledky metody IAEA-TECDOC-727	41
Tabulka 13: Matice výsledků metody IAEA-TECDOC-727	42
Tabulka 14: Shrnutí výstupů metod	43
Tabulka 15: Frekvence vzniku jednotlivých scénářů ETA	48
Tabulka 16: Odhad následků ALOHA	49

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1: Výpočet selektivního čísla	57
Příloha 2: Formuláře Fire and Explosion Index.....	60
Příloha 3: Protokoly IAEA-TECDOC-727	70
Příloha 4: Textový a grafický výstup ALOHA.....	77

Příloha 1: Výpočet selektivního čísla

Bod na hranici	Vzdálenost od jednotky 1 [m]	Vzdálenost od jednotky 2 [m]	Vzdálenost od jednotky 3 [m]	Vzdálenost od jednotky 4 [m]	Vzdálenost od jednotky 5 [m]
1	44,08	132,24	223,44	347,32	380
2	39,52	95,76	177,84	297,92	340,48
3	77,52	74,48	137,56	248,52	305,52
4	124,64	85,12	104,88	198,36	272,08
5	174,8	117,8	88,16	148,96	246,24
6	253,84	159,6	99,56	101,08	229,52
7	272,08	205,2	130,72	56,24	221,92
8	322,24	252,32	170,24	31,92	224,96
9	351,12	280,44	196,08	45,6	232,56
10	349,6	272,08	177,84	38	183,92
11	355,68	272,08	174,8	75,24	138,32
12	369,36	281,2	185,44	121,6	100,32
13	387,6	298,68	206,72	170,24	72,96
14	411,92	323	237,12	218,88	76
15	427,12	339,72	258,4	247,76	91,2
16	396,72	311,6	232,56	244,72	65,36
17	360,24	275,88	208,24	249,28	59,28
18	325,28	243,96	193,04	267,52	88,16
19	310,08	229,52	174,04	249,28	76
20	284,24	206,72	170,24	266	107,92
21	256,88	190	177,84	299,44	164,16
22	235,6	185,44	199,12	334,4	212,8
23	226,48	193,8	229,52	370,88	261,44
24	228	214,32	264,48	412,68	311,6
25	168,72	167,2	232,56	384,56	310,08
26	120,08	133,76	214,32	364,8	319,2
27	72,96	112,48	205,2	354,16	332,88
28	34,96	110,96	207,48	346,56	354,16
Rezid.	654,96	615,44	600,24	654,96	486,24

Bod na hranici	S1A	S1B	S2A	S2B	S3A	S3B	S4A	S4B	S5A	S5B	50% S _{MAX}
1	9,246991	92,46991	0,034871	0,348708	0,012048	0,12048	0,018903	0,189032	0,014762	0,147616	46,23495
2	12,83141	128,3141	0,091833	0,918329	0,023895	0,238952	0,029952	0,29952	0,020522	0,205216	64,15705
3	1,700137	17,00137	0,195178	1,951783	0,051632	0,516325	0,051599	0,51599	0,028403	0,284031	8,500684
4	0,409028	4,090278	0,130754	1,307542	0,116499	1,164987	0,101476	1,014759	0,040216	0,402157	2,045139
5	0,148286	1,482863	0,04933	0,493304	0,196148	1,961483	0,239616	2,396162	0,054251	0,542512	1,198081
6	0,048422	0,484223	0,019836	0,198359	0,13619	1,361898	0,766884	7,668837	0,066992	0,669921	3,834418
7	0,039322	0,39322	0,009333	0,093329	0,060169	0,60169	4,452349	44,52349	0,074113	0,741132	22,26175
8	0,023669	0,236694	0,00502	0,050199	0,02724	0,272405	24,35211	243,5211	0,071149	0,711491	121,7605
9	0,018296	0,182961	0,003656	0,036562	0,017828	0,178279	8,352773	83,52773	0,064399	0,643991	41,76386
10	0,018536	0,185358	0,004004	0,040037	0,023895	0,238952	14,43359	144,3359	0,130196	1,301962	72,16795
11	0,017601	0,176014	0,004004	0,040037	0,025164	0,251637	1,859426	18,59426	0,306077	3,060766	9,297128
12	0,015717	0,157172	0,003627	0,036266	0,021076	0,21076	0,440478	4,404782	0,802274	8,022735	4,011368
13	0,013601	0,136011	0,003026	0,030264	0,015214	0,152143	0,160524	1,605241	2,085598	20,85598	10,42799
14	0,011331	0,113315	0,002393	0,02393	0,010081	0,100808	0,075528	0,755278	1,845203	18,45203	9,226017
15	0,010164	0,101643	0,002057	0,020568	0,00779	0,077897	0,052075	0,520753	1,067826	10,67826	5,33913

16	0,012684	0,126845	0,002665	0,026654	0,010685	0,106855	0,05404	0,540402	2,901008	29,01008	14,50504
17	0,016941	0,169414	0,003841	0,038405	0,014884	0,148836	0,051128	0,511285	3,888306	38,88306	19,44153
18	0,023012	0,230119	0,005554	0,055539	0,018683	0,186835	0,041367	0,413672	1,182144	11,82144	5,910719
19	0,026565	0,265646	0,006669	0,066694	0,025495	0,254948	0,051128	0,511285	1,845203	18,45203	9,226017
20	0,034488	0,344881	0,009129	0,091286	0,02724	0,272405	0,04208	0,420804	0,644435	6,444351	3,222176
21	0,046723	0,467234	0,011757	0,117568	0,023895	0,238952	0,029498	0,294982	0,183098	1,830977	0,915489
22	0,060562	0,605619	0,012646	0,126456	0,017024	0,170237	0,02118	0,2118	0,084056	0,840563	0,420281
23	0,068177	0,681766	0,011079	0,110787	0,011116	0,111157	0,015525	0,155248	0,045328	0,453282	0,340883
24	0,066822	0,668222	0,008191	0,081915	0,007265	0,072648	0,011269	0,11269	0,026773	0,267727	0,334111
25	0,164902	1,649018	0,017252	0,172521	0,010685	0,106855	0,013926	0,139262	0,027168	0,271684	0,824509
26	0,457418	4,574179	0,033695	0,336955	0,013652	0,136525	0,016314	0,16314	0,024906	0,249056	2,287089
27	2,039251	20,39251	0,056666	0,566663	0,015555	0,155549	0,017829	0,17829	0,021959	0,219595	10,19626
28	18,53578	185,3578	0,059027	0,590271	0,015048	0,150477	0,019028	0,190279	0,018234	0,182342	92,67891
Rezid. obl.	0,002819	0,028189	0,000346	0,003459	0,000621	0,006215	0,002819	0,028189	0,007046	0,070458	0,035229

Příloha 2: Formuláře Fire and Explosion Index

1A ZÁSOBNÍK BENZÍNU (SKLAD)	
Fire and Explosion Index	50,37
Material Factor (see Material Data tab)	16,00
NFPA Health rating (Nh)	1
NFPA Flammability rating (Nf)	3
NFPA Instability rating (Ni)	0
General Process Hazards	
Base	1
1A Exothermic Reaction (range of input 0.3 - 1.25)	0,00
1B Endothermic Reaction (input range 0.2 - 0.4)	0,00
1C Material Handling and Transfer (input range 0.25 - 0.8)	0,00
Enclosed or Indoor Process or storage Units handling Flammable	
1D materials	0,00
1E Ease of Access for Emergency Responders	0,35
1F Drainage and Spill Control	0,00
General Process Hazards Factor	1,35
Special Process Hazards	
Base	1
2A Toxicity of the material handled.	0,20
2B Process or Storage operates at vacuum (<500mmHg) -penalty 0.5	0,00
2C Operation in or near the flammable range (input range 0.0 - 0.8)	0,30
2D Dust Explosion (input range 0.0 - 2.0)	0,00
2E Pressure Penalty	0,00
2F Low Temperature Operation	0,00
2G1 Combustible and Flammable materials in Process	0,00
2G2 Liquids or gases in Storage	0,63
2G3 Solids in Storage or Process	0,00
2H Corrosion and Erosion (input range 0.0 -0.75)	0,20
2I Leakage, Joints, packing, flexible joints	0,00
2J Use of Fired Equipment (fig 6)	0,00
2K Hot Oil Heat Exchange Equipment (table 5)	0,00
2L Rotating Equipment	0,00
Special Process Hazards Factor	2,33
Fire and Explosion Index	50,37
Level 2 Risk Analysis is not triggered	

1B ZÁSObNÍK BENZINU (PROCES)	
Fire and Explosion Index	154,70
Material Factor (see Material Data tab)	16,00
NFPA Health rating (Nh)	1
NFPA Flammability rating (Nf)	3
NFPA Instability rating (Ni)	0
General Process Hazards	
Base	1
1A Exothermic Reaction (range of input 0.3 - 1.25)	0,00
1B Endothermic Reaction (input range 0.2 - 0.4)	0,00
1C Material Handling and Transfer (input range 0.25 - 0.8)	0,50
1D Enclosed or Indoor Process or storage Units handling Flammable materials	0,00
1E Ease of Access for Emergency Responders	0,35
1F Drainage and Spill Control	0,50
General Process Hazards Factor	2,35
Special Process Hazards	
Base	1
2A Toxicity of the material handled.	0,20
2B Process or Storage operates at vacuum (<500mmHg) -penalty 0.5	0,00
2C Operation in or near the flammable range (input range 0.0 - 0.8)	0,50
2D Dust Explosion (input range 0.0 - 2.0)	0,00
2E Pressure Penalty	0,00
2F Low Temperature Operation	0,00
2G1 Combustible and Flammable materials in Process	2,11
2G2 Liquids or gases in Storage	0,00
2G3 Solids in Storage or Process	0,00
2H Corrosion and Erosion (input range 0.0 -0.75)	0,20
2I Leakage, Joints, packing, flexible joints	0,10
2J Use of Fired Equipment (fig 6)	0,00
2K Hot Oil Heat Exchange Equipment (table 5)	0,00
2L Rotating Equipment	0,00
Special Process Hazards Factor	4,11
Fire and Explosion Index	154,70
Level 2 Risk Analysis is triggered	

2A ZÁSOBNÍK MOTOROVÉ NAFTY MENŠÍ (SKLAD)	
Fire and Explosion Index	15,14
Material Factor (see Material Data tab)	10,00
NFPA Health rating (Nh)	0
NFPA Flammability rating (Nf)	2
NFPA Instability rating (Ni)	0
General Process Hazards	
Base	1
1A Exothermic Reaction (range of input 0.3 - 1.25)	0,00
1B Endothermic Reaction (input range 0.2 - 0.4)	0,00
1C Material Handling and Transfer (input range 0.25 - 0.8)	0,00
1D Enclosed or Indoor Process or storage Units handling Flammable materials	0,00
1E Ease of Access for Emergency Responders	0,00
1F Drainage and Spill Control	0,00
General Process Hazards Factor	1,00
Special Process Hazards	
Base	1
2A Toxicity of the material handled.	0,00
2B Process or Storage operates at vacuum (<500mmHg) -penalty 0.5	0,00
2C Operation in or near the flammable range (input range 0.0 - 0.8)	0,00
2D Dust Explosion (input range 0.0 - 2.0)	0,00
2E Pressure Penalty	0,00
2F Low Temperature Operation	0,00
2G1 Combustible and Flammable materials in Process	0,00
2G2 Liquids or gases in Storage	0,41
2G3 Solids in Storage or Process	0,00
2H Corrosion and Erosion (input range 0.0 -0.75)	0,10
2I Leakage, Joints, packing, flexible joints	0,00
2J Use of Fired Equipment (fig 6)	0,00
2K Hot Oil Heat Exchange Equipment (table 5)	0,00
2L Rotating Equipment	0,00
Special Process Hazards Factor	1,51
Fire and Explosion Index	15,14
Level 2 Risk Analysis is not triggered	

2B ZÁSObNÍK MOTOROVÉ NAFTY MENŠÍ (PROCES)	
Fire and Explosion Index	71,57
Material Factor (see Material Data tab)	10,00
NFPA Health rating (Nh)	0
NFPA Flammability rating (Nf)	2
NFPA Instability rating (Ni)	0
General Process Hazards	
Base	1
1A Exothermic Reaction (range of input 0.3 - 1.25)	0,00
1B Endothermic Reaction (input range 0.2 - 0.4)	0,00
1C Material Handling and Transfer (input range 0.25 - 0.8)	0,50
1D Enclosed or Indoor Process or storage Units handling Flammable materials	0,00
1E Ease of Access for Emergency Responders	0,00
1F Drainage and Spill Control	0,50
General Process Hazards Factor	2,00
Special Process Hazards	
Base	1
2A Toxicity of the material handled.	0,00
2B Process or Storage operates at vacuum (<500mmHg) -penalty 0.5	0,00
2C Operation in or near the flammable range (input range 0.0 - 0.8)	0,30
2D Dust Explosion (input range 0.0 - 2.0)	0,00
2E Pressure Penalty	0,00
2F Low Temperature Operation	0,00
2G1 Combustible and Flammable materials in Process	2,08
2G2 Liquids or gases in Storage	0,00
2G3 Solids in Storage or Process	0,00
2H Corrosion and Erosion (input range 0.0 -0.75)	0,10
2I Leakage, Joints, packing, flexible joints	0,10
2J Use of Fired Equipment (fig 6)	0,00
2K Hot Oil Heat Exchange Equipment (table 5)	0,00
2L Rotating Equipment	0,50
Special Process Hazards Factor	3,58
Fire and Explosion Index	71,57
Level 2 Risk Analysis is not triggered	

3A ZÁSObNÍK MOTOROVÉ NAFTY VĚTŠÍ (SKLAD)	
Fire and Explosion Index	15,84
Material Factor (see Material Data tab)	10,00
NFPA Health rating (Nh)	0
NFPA Flammability rating (Nf)	2
NFPA Instability rating (Ni)	0
General Process Hazards	
Base	1
1A Exothermic Reaction (range of input 0.3 - 1.25)	0,00
1B Endothermic Reaction (input range 0.2 - 0.4)	0,00
1C Material Handling and Transfer (input range 0.25 - 0.8)	0,00
Enclosed or Indoor Process or storage Units handling Flammable materials	0,00
1D	0,00
1E Ease of Access for Emergency Responders	0,00
1F Drainage and Spill Control	0,00
General Process Hazards Factor	1,00
Special Process Hazards	
Base	1
2A Toxicity of the material handled.	0,00
2B Process or Storage operates at vacuum (<500mmHg) -penalty 0.5	0,00
2C Operation in or near the flammable range (input range 0.0 - 0.8)	0,00
2D Dust Explosion (input range 0.0 - 2.0)	0,00
2E Pressure Penalty	0,00
2F Low Temperature Operation	0,00
2G1 Combustible and Flammable materials in Process	0,00
2G2 Liquids or gases in Storage	0,48
2G3 Solids in Storage or Process	0,00
2H Corrosion and Erosion (input range 0.0 -0.75)	0,10
2I Leakage, Joints, packing, flexible joints	0,00
2J Use of Fired Equipment (fig 6)	0,00
2K Hot Oil Heat Exchange Equipment (table 5)	0,00
2L Rotating Equipment	0,00
Special Process Hazards Factor	1,58
Fire and Explosion Index	15,84
Level 2 Risk Analysis is not triggered	

3B ZÁSOBNÍK MOTOROVÉ NAFTY VĚTŠÍ (PROCES)	
Fire and Explosion Index	74,70
Material Factor (see Material Data tab)	10,00
NFPA Health rating (Nh)	0
NFPA Flammability rating (Nf)	2
NFPA Instability rating (Ni)	0
General Process Hazards	
Base	1
1A Exothermic Reaction (range of input 0.3 - 1.25)	0,00
1B Endothermic Reaction (input range 0.2 - 0.4)	0,00
1C Material Handling and Transfer (input range 0.25 - 0.8)	0,50
1D Enclosed or Indoor Process or storage Units handling Flammable materials	0,00
1E Ease of Access for Emergency Responders	0,00
1F Drainage and Spill Control	0,50
General Process Hazards Factor	2,00
Special Process Hazards	
Base	1
2A Toxicity of the material handled.	0,00
2B Process or Storage operates at vacuum (<500mmHg) -penalty 0.5	0,00
2C Operation in or near the flammable range (input range 0.0 - 0.8)	0,30
2D Dust Explosion (input range 0.0 - 2.0)	0,00
2E Pressure Penalty	0,00
2F Low Temperature Operation	0,00
2G1 Combustible and Flammable materials in Process	2,23
2G2 Liquids or gases in Storage	0,00
2G3 Solids in Storage or Process	0,00
2H Corrosion and Erosion (input range 0.0 -0.75)	0,10
2I Leakage, Joints, packing, flexible joints	0,10
2J Use of Fired Equipment (fig 6)	0,00
2K Hot Oil Heat Exchange Equipment (table 5)	0,00
2L Rotating Equipment	0,50
Special Process Hazards Factor	3,74
Fire and Explosion Index	74,70
Level 2 Risk Analysis is not triggered	

4A ZÁSObNÍK BENZÍNU (SKLAD)	
Fire and Explosion Index	50,37
Material Factor (see Material Data tab)	16,00
NFPA Health rating (Nh)	1
NFPA Flammability rating (Nf)	3
NFPA Instability rating (Ni)	0
General Process Hazards	
Base	1
1A Exothermic Reaction (range of input 0.3 - 1.25)	0,00
1B Endothermic Reaction (input range 0.2 - 0.4)	0,00
1C Material Handling and Transfer (input range 0.25 - 0.8)	0,00
1D Enclosed or Indoor Process or storage Units handling Flammable materials	0,00
1E Ease of Access for Emergency Responders	0,35
1F Drainage and Spill Control	0,00
General Process Hazards Factor	1,35
Special Process Hazards	
Base	1
2A Toxicity of the material handled.	0,20
2B Process or Storage operates at vacuum (<500mmHg) -penalty 0.5	0,00
2C Operation in or near the flammable range (input range 0.0 - 0.8)	0,30
2D Dust Explosion (input range 0.0 - 2.0)	0,00
2E Pressure Penalty	0,00
2F Low Temperature Operation	0,00
2G1 Combustible and Flammable materials in Process	0,00
2G2 Liquids or gases in Storage	0,63
2G3 Solids in Storage or Process	0,00
2H Corrosion and Erosion (input range 0.0 -0.75)	0,20
2I Leakage, Joints, packing, flexible joints	0,00
2J Use of Fired Equipment (fig 6)	0,00
2K Hot Oil Heat Exchange Equipment (table 5)	0,00
2L Rotating Equipment	0,00
Special Process Hazards Factor	2,33
Fire and Explosion Index	50,37
Level 2 Risk Analysis is not triggered	

4B ZÁSObNÍK BENZINU (PROCES)	
Fire and Explosion Index	154,70
Material Factor (see Material Data tab)	16,00
NFPA Health rating (Nh)	1
NFPA Flammability rating (Nf)	3
NFPA Instability rating (Ni)	0
General Process Hazards	
Base	1
1A Exothermic Reaction (range of input 0.3 - 1.25)	0,00
1B Endothermic Reaction (input range 0.2 - 0.4)	0,00
1C Material Handling and Transfer (input range 0.25 - 0.8)	0,50
1D Enclosed or Indoor Process or storage Units handling Flammable materials	0,00
1E Ease of Access for Emergency Responders	0,35
1F Drainage and Spill Control	0,50
General Process Hazards Factor	2,35
Special Process Hazards	
Base	1
2A Toxicity of the material handled.	0,20
2B Process or Storage operates at vacuum (<500mmHg) -penalty 0.5	0,00
2C Operation in or near the flammable range (input range 0.0 - 0.8)	0,50
2D Dust Explosion (input range 0.0 - 2.0)	0,00
2E Pressure Penalty	0,00
2F Low Temperature Operation	0,00
2G1 Combustible and Flammable materials in Process	2,11
2G2 Liquids or gases in Storage	0,00
2G3 Solids in Storage or Process	0,00
2H Corrosion and Erosion (input range 0.0 -0.75)	0,20
2I Leakage, Joints, packing, flexible joints	0,10
2J Use of Fired Equipment (fig 6)	0,00
2K Hot Oil Heat Exchange Equipment (table 5)	0,00
2L Rotating Equipment	0,00
Special Process Hazards Factor	4,11
Fire and Explosion Index	154,70
Level 2 Risk Analysis is triggered	

5A ZÁSObNÍK PROPAN BUTAN (SKLAD)	
Fire and Explosion Index	93,89
Material Factor (see Material Data tab)	24,00
NFPA Health rating (Nh)	2
NFPA Flammability rating (Nf)	4
NFPA Instability rating (Ni)	2
General Process Hazards	
Base	1
1A Exothermic Reaction (range of input 0.3 - 1.25)	0,00
1B Endothermic Reaction (input range 0.2 - 0.4)	0,00
1C Material Handling and Transfer (input range 0.25 - 0.8)	0,00
1D Enclosed or Indoor Process or storage Units handling Flammable materials	0,00
1E Ease of Access for Emergency Responders	0,35
1F Drainage and Spill Control	0,50
General Process Hazards Factor	1,85
Special Process Hazards	
Base	1
2A Toxicity of the material handled.	0,40
2B Process or Storage operates at vacuum (<500mmHg) -penalty 0.5	0,00
2C Operation in or near the flammable range (input range 0.0 - 0.8)	0,30
2D Dust Explosion (input range 0.0 - 2.0)	0,00
2E Pressure Penalty	0,12
2F Low Temperature Operation	0,00
2G1 Combustible and Flammable materials in Process	0,00
2G2 Liquids or gases in Storage	0,30
2G3 Solids in Storage or Process	0,00
2H Corrosion and Erosion (input range 0.0 -0.75)	0,00
2I Leakage, Joints, packing, flexible joints	0,00
2J Use of Fired Equipment (fig 6)	0,00
2K Hot Oil Heat Exchange Equipment (table 5)	0,00
2L Rotating Equipment	0,00
Special Process Hazards Factor	2,11
Fire and Explosion Index	93,89
Level 2 Risk Analysis is not triggered	

5B ZÁSObNÍK PROPAN BUTAN (PROCES)	
Fire and Explosion Index	167,19
Material Factor (see Material Data tab)	24,00
NFPA Health rating (Nh)	2
NFPA Flammability rating (Nf)	4
NFPA Instability rating (Ni)	2
General Process Hazards	
Base	1
1A Exothermic Reaction (range of input 0.3 - 1.25)	0,00
1B Endothermic Reaction (input range 0.2 - 0.4)	0,00
1C Material Handling and Transfer (input range 0.25 - 0.8)	0,50
1D Enclosed or Indoor Process or storage Units handling Flammable materials	0,00
1E Ease of Access for Emergency Responders	0,35
1F Drainage and Spill Control	0,50
General Process Hazards Factor	2,35
Special Process Hazards	
Base	1
2A Toxicity of the material handled.	0,40
2B Process or Storage operates at vacuum (<500mmHg) -penalty 0.5	0,00
2C Operation in or near the flammable range (input range 0.0 - 0.8)	0,50
2D Dust Explosion (input range 0.0 - 2.0)	0,00
2E Pressure Penalty	0,12
2F Low Temperature Operation	0,00
2G1 Combustible and Flammable materials in Process	0,75
2G2 Liquids or gases in Storage	0,00
2G3 Solids in Storage or Process	0,00
2H Corrosion and Erosion (input range 0.0 -0.75)	0,00
2I Leakage, Joints, packing, flexible joints	0,20
2J Use of Fired Equipment (fig 6)	0,00
2K Hot Oil Heat Exchange Equipment (table 5)	0,00
2L Rotating Equipment	0,00
Special Process Hazards Factor	2,96
Fire and Explosion Index	167,19
Level 2 Risk Analysis is triggered	

Příloha 3: Protokoly IAEA-TECDOC-727

PROTOKOL IAEA-TECDOC-727 PRO ZÁSObNÍK BENZÍNU (STÁČENÍ)

ZDROJ: ZÁSObNÍK

Stacionární zdroj: Zásobník s benzínem, objekt 1, objem 120 000 l, obsah 88 t, látka benzín

Stanovení ztrát:

Tabulka II:	benzín (látka), referenční číslo havárie: 6
Tabulka IV a:	od 50 do 200 tun, kategorie následků: C2
Tabulka V:	maximální dosah účinků: 50 – 100 m tvar zasažené oblasti: semikruhový zasažená plocha $A = 1,5$ ha
Tabulka VI:	uvažovaná hustota obyvatelstva: $\bar{D} = 20$ osob/ha
Tabulka VII:	korekční faktor na distribuci obyvatelstva pro tvar zasažené oblasti: $f_A = 0,1$
Tabulka VIII:	zeslabující faktor pro referenční číslo 6 je $f_M = 1$

Odhad ztrát:

$$C_{a,s} = A \cdot \bar{D} \cdot f_A \cdot f_M = 1,5 \cdot 20 \cdot 0,1 \cdot 1 = 3 \text{ osoby}$$

Stanovení frekvence výskytu:

Tabulka IX:	základní pravděpodobnostní číslo $N^* = 6$
Tabulka X:	frekvence přečerpávání je kontinuální x/rok $n_l = 0$
Tabulka XI:	Korekce na hořlavost $n_f = 0$
Tabulka XII:	korekce na org. zajištění bezpečnosti $n_o = 0$
Tabulka XIII:	Korekce na směr větru pro tvar zasažené oblasti $n_p = +0,5$

Korigovaná hodnota

pravděpodobnostního čísla: $N = N^* + n_l + n_f + n_o + n_p = 6 + 0 + 0 + 0 + 0,5 = 6,5$

Tabulka XIV: **Odpovídající**

hodnota frekvence výskytu: $P = 3 \cdot 10^{-7}$ případů za rok

PROTOKOL IAEA-TECDOC-727 PRO ZÁSOBNÍK NAFTY (STÁČENÍ)

ZDROJ: ZÁSOBNÍK

Stacionární zdroj: Zásobník s naftou, objekt 3, objem 160 000 l, obsah 80,64 t, látka nafta

Stanovení ztrát:

Tabulka II:	benzín (látka), referenční číslo havárie: 3
Tabulka IV a:	od 50 do 200 tun, kategorie následků: B1
Tabulka V:	maximální dosah účinků: 25 – 50 m tvar zasažené oblasti: kruhový zasažená plocha $A = 0,8$ ha
Tabulka VI:	uvažovaná hustota obyvatelstva: $\bar{\delta} = 20$ osob/ha
Tabulka VII:	korekční faktor na distribuci obyvatelstva pro tvar zasažené oblasti: $f_A = 0,05$
Tabulka VIII:	zeslabující faktor pro referenční číslo 3 je $f_M = 1$

Odhad ztrát:

$$C_{a,s} = A \cdot \bar{\delta} \cdot f_A \cdot f_M = 0,8 \cdot 20 \cdot 0,05 \cdot 1 = 0,8 \text{ osob}$$

Stanovení frekvence výskytu:

Tabulka IX:	základní pravděpodobnostní číslo $N^* = 7$
Tabulka X:	frekvence přečerpávání je kontinuální x/rok $n_l = 0$
Tabulka XI:	Korekce na hořlavost $n_f = 0$
Tabulka XII:	korekce na org. zajištění bezpečnosti $n_o = 0$
Tabulka XIII:	Korekce na směr větru pro tvar zasažené oblasti $n_p = 0$

Korigovaná hodnota

pravděpodobnostního čísla: $N = N^* + n_l + n_f + n_o + n_p = 7 + 0 + 0 + 0 + 0 = 7$

Tabulka XIV: Odpovídající

hodnota frekvence výskytu: $P = 1 \cdot 10^{-7}$ případů za rok

PROTOKOL IAEA-TECDOC-727 PRO **ZÁSOBNÍK BENZÍNU (STÁČENÍ)**

ZDROJ: ZÁSOBNÍK

Stacionární zdroj: Zásobník s benzínem, objekt 4, objem 120 000 l, obsah 88 t, látka benzín

Stanovení ztrát:

Tabulka II:	benzín (látka), referenční číslo havárie: 6
Tabulka IV a:	od 50 do 200 tun, kategorie následků: C2
Tabulka V:	maximální dosah účinků: 50 – 100 m tvar zasažené oblasti: semikruhový zasažená plocha $A = 1,5$ ha
Tabulka VI:	uvažovaná hustota obyvatelstva: $\bar{\delta} = 20$ osob/ha
Tabulka VII:	korekční faktor na distribuci obyvatelstva pro tvar zasažené oblasti: $f_A = 0,1$
Tabulka VIII:	zeslabující faktor pro referenční číslo 6 je $f_M = 1$

Odhad ztrát:

$$C_{a,s} = A \cdot \bar{\delta} \cdot f_A \cdot f_M = 1,5 \cdot 20 \cdot 0,1 \cdot 1 = 3 \text{ osoby}$$

Stanovení frekvence výskytu:

Tabulka IX:	základní pravděpodobnostní číslo $N^* = 6$
Tabulka X:	frekvence přečerpávání je kontinuální x/rok $n_l = 0$
Tabulka XI:	Korekce na hořlavost $n_f = 0$
Tabulka XII:	korekce na org. zajištění bezpečnosti $n_o = 0$
Tabulka XIII:	Korekce na směr větru pro tvar zasažené oblasti $n_p = +0,5$

Korigovaná hodnota

pravděpodobnostního čísla: $N = N^* + n_l + n_f + n_o + n_p = 6 + 0 + 0 + 0 + 0,5 = 6,5$

Tabulka XIV: Odpovídající

hodnota frekvence výskytu: $P = 3 \cdot 10^{-7}$ případů za rok

PROTOKOL IAEA-TECDOC-727 PRO ZÁSOBNÍK PROPAN BUTANU (SKLADOVÁNÍ)

ZDROJ: ZÁSOBNÍK

Stacionární zdroj: Zásobník s propan butanem, objekt 5, objem 15 000 l, obsah 8,1 t, látka propan butan

Stanovení ztrát:

Tabulka II:	Propan butan (látka), referenční číslo havárie: 7
Tabulka IV a:	od 5 do 10 tun, kategorie následků: B1
Tabulka V:	maximální dosah účinků: 25 – 50 m tvar zasažené oblasti: kruhový zasažená plocha A = 0,8 ha
Tabulka VI:	uvažovaná hustota obyvatelstva: $\bar{\delta} = 20$ osob/ha
Tabulka VII:	korekční faktor na distribuci obyvatelstva pro tvar zasažené oblasti: $f_A = 0,05$
Tabulka VIII:	zeslabující faktor pro referenční číslo 7 je $f_M = 1$

Odhad ztrát:

$$C_{a,s} = A \cdot \bar{\delta} \cdot f_A \cdot f_M = 0,8 \cdot 20 \cdot 0,05 \cdot 1 = 0,8 \text{ osoby}$$

Stanovení frekvence výskytu:

Tabulka IX:	základní pravděpodobnostní číslo $N^* = 7$
Tabulka X:	frekvence přečerpávání je kontinuální x/rok $n_l = 0$
Tabulka XI:	Korekce na hořlavost $n_f = 0$
Tabulka XII:	korekce na org. zajištění bezpečnosti $n_o = 0$
Tabulka XIII:	Korekce na směr větru pro tvar zasažené oblasti $n_p = 0$

Korigovaná hodnota

pravděpodobnostního čísla: $N = N^* + n_l + n_f + n_o + n_p = 7 + 0 + 0 + 0 + 0 = 7$

Tabulka XIV: Odpovídající

hodnota frekvence výskytu: $P = 1 \cdot 10^{-7}$ případů za rok

PROTOKOL IAEA-TECDOC-727 PRO ZÁSObNÍK PROPAN BUTANU (STÁČENÍ)

ZDROJ: ZÁSObNÍK

Stacionární zdroj: Zásobník s propan butanem, objekt 5, objem 15 000 l, obsah 8,1 t, látka propan butan

Stanovení ztrát:

Tabulka II:	Propan butan (látka), referenční číslo havárie: 9
Tabulka IV a:	od 5 do 10 tun, kategorie následků: C3
Tabulka V:	maximální dosah účinků: 50 – 100 m tvar zasažené oblasti: eliptický tvar zasažená plocha A = 0,3 ha
Tabulka VI:	uvažovaná hustota obyvatelstva: $\bar{\delta} = 20$ osob/ha
Tabulka VII:	korekční faktor na distribuci obyvatelstva pro tvar zasažené oblasti: $f_A = 1$
Tabulka VIII:	zeslabující faktor pro referenční číslo 9 je $f_M = 1$

Odhad ztrát:

$$C_{a,s} = A \cdot \bar{\delta} \cdot f_A \cdot f_M = 0,3 \cdot 20 \cdot 1 \cdot 1 = 6 \text{ osob}$$

Stanovení frekvence výskytu:

Tabulka IX:	základní pravděpodobnostní číslo $N^* = 6$
Tabulka X:	frekvence přečerpávání je kontinuální x/rok $n_l = 0$
Tabulka XI:	Korekce na hořlavost $n_f = 0$
Tabulka XII:	korekce na org. zajištění bezpečnosti $n_o = 0$
Tabulka XIII:	Korekce na směr větru pro tvar zasažené oblasti $n_p = +1,5$

Korigovaná hodnota

pravděpodobnostního čísla: $N = N^* + n_l + n_f + n_o + n_p = 6 + 0 + 0 + 0 + 1,5 = 7,5$

Tabulka XIV: Odpovídající

hodnota frekvence výskytu: $P = 3 \cdot 10^{-8}$ případů za rok

PROTOKOL IAEA-TECDOC-727 PRO **SILNIČNÍ PŘEPRAVU BENZÍNU**

ZDROJ: AUTOCISTERNA

Mobilní zdroj: Automobilová cisterna s benzínem, plnicí dávky objem 16 000 l, obsah 11,84 t, látka benzín

Stanovení ztrát:

Tabulka II:	benzín (látka), referenční číslo havárie: 6
Tabulka IV a:	od 10 do 50 tun, kategorie následků: B2
Tabulka V:	maximální dosah účinků: 25 – 50 m tvar zasažené oblasti: semikruhový zasažená plocha $A = 0,4$ ha
Tabulka VI:	uvažovaná hustota obyvatelstva: $\bar{\delta} = 20$ osob/ha
Tabulka VII:	korekční faktor na distribuci obyvatelstva pro tvar zasažené oblasti: $f_A = 1$
Tabulka VIII:	zeslabující faktor pro referenční číslo 6 je $f_M = 1$

Odhad ztrát:

$$C_{a,s} = A \cdot \bar{\delta} \cdot f_A \cdot f_M = 0,4 \cdot 20 \cdot 1 \cdot 1 = 8 \text{ osob}$$

Stanovení frekvence výskytu:

Tabulka XV:	základní pravděpodobnostní číslo $N^* = 8,5$
Tabulka XVII:	korekce na org. zajištění bezpečnosti $n_c = +1$
Tabulka XVIII:	korekce na hustotu dopravy $n_t = -1,5$
Tabulka XIX:	Korekce na směr větru pro tvar zasažené oblasti $n_p = 0$

Korigovaná hodnota

pravděpodobnostního čísla: $N = N^* + n_c + n_t + n_p = 8,5 - 1 - 1,5 + 0 = 5$

Tabulka XX: Odpovídající

hodnota frekvence výskytu: $P = 1 \cdot 10^{-5}$ případů za rok

PROTOKOL IAEA-TECDOC-727 PRO **SILNIČNÍ PŘEPRAVU PROPAN BUTANU**

ZDROJ: AUTOCISTERNA

Mobilní zdroj: Automobilová cisterna s propan butanem, plnicí dávka objem 25 000 l, obsah 13,5 t, látka propan butan

Stanovení ztrát:

Tabulka II:	propan butan (látka), referenční číslo havárie: 7
Tabulka IV a:	od 10 do 50 tun, kategorie následků: C1
Tabulka V:	maximální dosah účinků: 50 - 100 m tvar zasažené oblasti: kruhový zasažená plocha A = 3 ha
Tabulka VI:	uvažovaná hustota obyvatelstva: $\bar{\sigma} = 20$ osob/ha
Tabulka VII:	korekční faktor na distribuci obyvatelstva pro tvar zasažené oblasti: $f_A = 1$
Tabulka VIII:	zeslabující faktor pro referenční číslo 7 je $f_M = 1$

Odhad ztrát:

$$C_{a,s} = A \cdot \bar{\sigma} \cdot f_A \cdot f_M = 3 \cdot 20 \cdot 1 \cdot 1 = 60 \text{ osob}$$

Stanovení frekvence výskytu:

Tabulka XV:	základní pravděpodobnostní číslo $N^* = 9,5$
Tabulka XVII:	korekce na org. zajištění bezpečnosti $n_c = +1$
Tabulka XVIII:	korekce na hustotu dopravy $n_t = -2,5$
Tabulka XIX:	Korekce na směr větru pro tvar zasažené oblasti $n_p = 0$

Korigovaná hodnota

pravděpodobnostního čísla: $N = N^* + n_c + n_t + n_p = 9,5 - 1 - 2,5 + 0 = 6$

Tabulka XX: Odpovídající

hodnota frekvence výskytu: $P = 1 \cdot 10^{-6}$ případů za rok

Příloha 4: Textový a grafický výstup ALOHA

SITE DATA:

Location: MŠTETICE, CZECH REPUBLIC
 Building Air Exchanges Per Hour: 0.54 (sheltered single storied)
 Time: March 29, 2015 1729 hours ST (user specified)

CHEMICAL DATA:

Chemical Name: PROPANE Molecular Weight: 44.10 g/mol
 AEGL-1 (60 min): 5500 ppm AEGL-2 (60 min): 17000 ppm AEGL-3 (60 min): 33000 ppm
 IDLH: 2100 ppm LEL: 21000 ppm UEL: 95000 ppm
 Ambient Boiling Point: -42.7° C
 Vapor Pressure at Ambient Temperature: greater than 1 atm
 Ambient Saturation Concentration: 1,000,000 ppm or 100.0%

ATMOSPHERIC DATA: (MANUAL INPUT OF DATA)

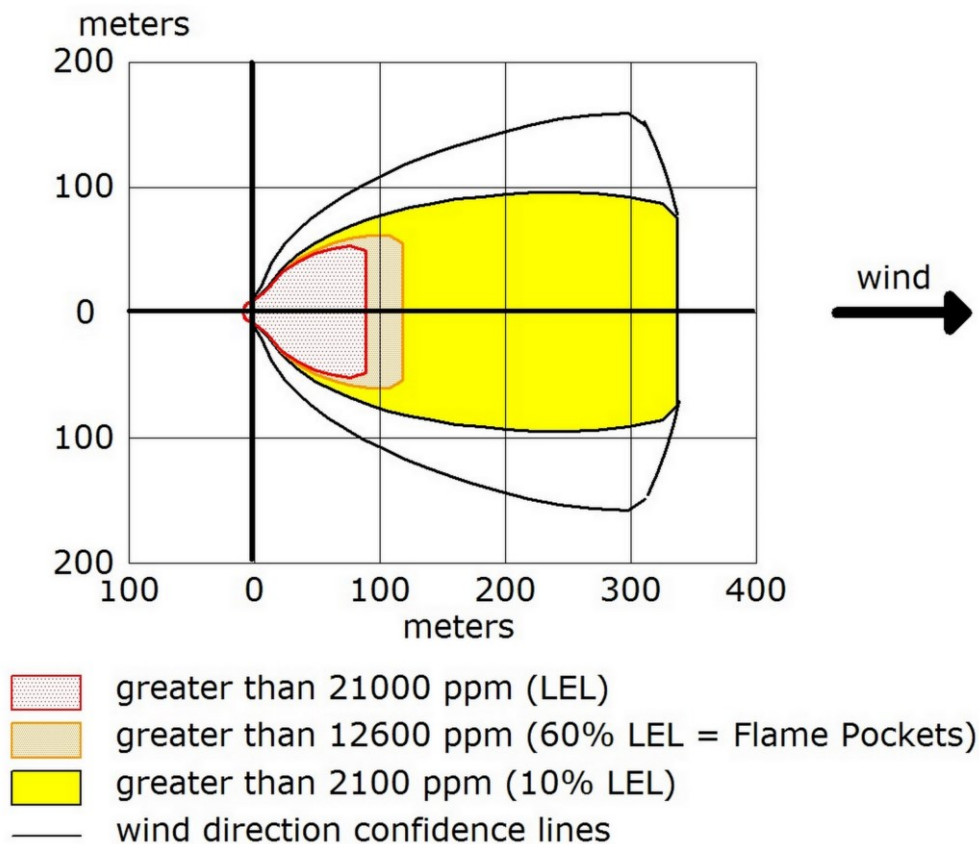
Wind: 3 meters/second from 360° true at 3 meters
 Ground Roughness: urban or forest Cloud Cover: 5 tenths
 Air Temperature: 10° C Stability Class: D
 No Inversion Height Relative Humidity: 50%

SOURCE STRENGTH:

Leak from hole in horizontal cylindrical tank
 Flammable chemical escaping from tank (not burning)
 Tank Diameter: 1.92 meters Tank Length: 8.6 meters
 Tank Volume: 25 cubic meters
 Tank contains liquid Internal Temperature: 10° C
 Chemical Mass in Tank: 13.5 tons Tank is 95% full
 Circular Opening Diameter: 5 centimeters
 Opening is 0 meters from tank bottom
 Release Duration: 8 minutes
 Max Average Sustained Release Rate: 1,690 kilograms/min
 (averaged over a minute or more)
 Total Amount Released: 12,247 kilograms
 Note: The chemical escaped as a mixture of gas and aerosol (two phase flow).

THREAT ZONE:

Threat Modeled: Flammable Area of Vapor Cloud
 Model Run: Heavy Gas
 Red : 90 meters --- (21000 ppm = LEL)
 Orange: 119 meters --- (12600 ppm = 60% LEL = Flame Pockets)
 Yellow: 338 meters --- (2100 ppm = 10% LEL)



SITE DATA:

Location: MSTETICE, CZECH REPUBLIC
Building Air Exchanges Per Hour: 0.54 (sheltered single storied)
Time: March 29, 2015 1729 hours ST (user specified)

CHEMICAL DATA:

Chemical Name: PROPANE Molecular Weight: 44.10 g/mol
AEGL-1 (60 min): 5500 ppm AEGL-2 (60 min): 17000 ppm AEGL-3 (60 min): 33000 ppm
IDLH: 2100 ppm LEL: 21000 ppm UEL: 95000 ppm
Ambient Boiling Point: -42.7° C
Vapor Pressure at Ambient Temperature: greater than 1 atm
Ambient Saturation Concentration: 1,000,000 ppm or 100.0%

ATMOSPHERIC DATA: (MANUAL INPUT OF DATA)

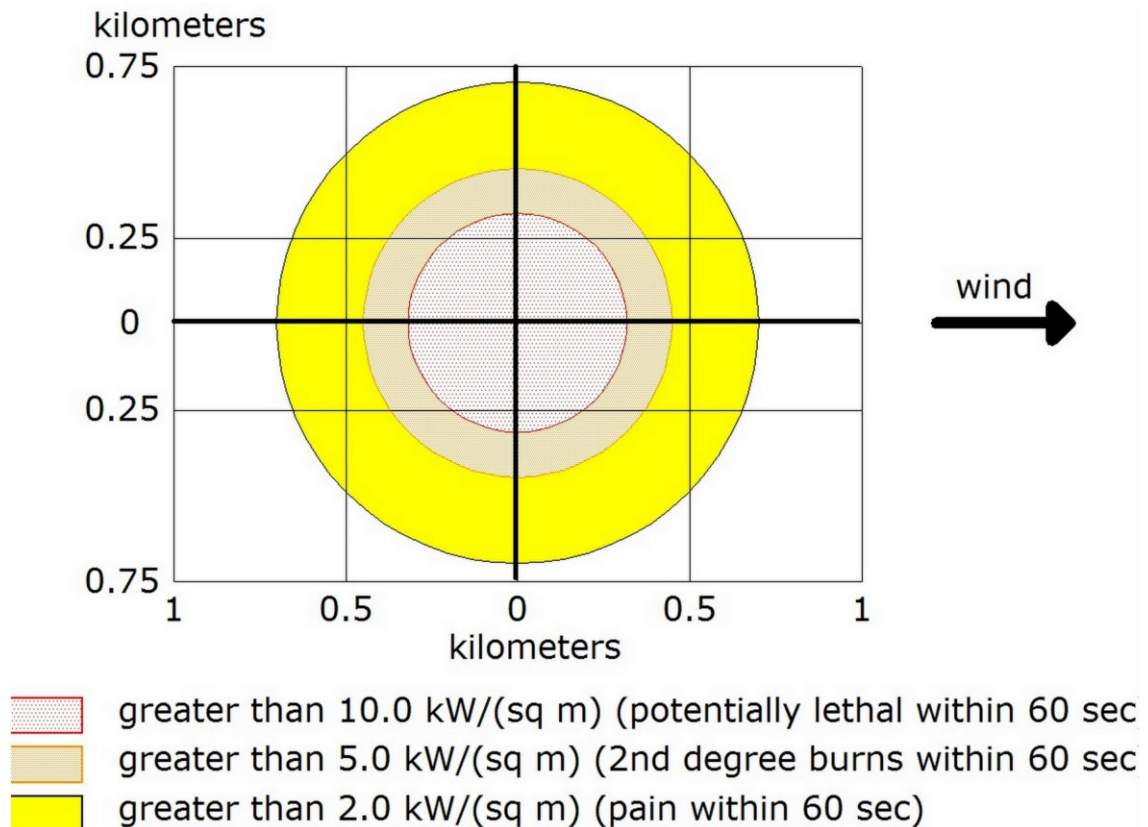
Wind: 3 meters/second from 360° true at 3 meters
Ground Roughness: urban or forest Cloud Cover: 5 tenths
Air Temperature: 10° C Stability Class: D
No Inversion Height Relative Humidity: 50%

SOURCE STRENGTH:

BLEVE of flammable liquid in horizontal cylindrical tank
Tank Diameter: 1.92 meters Tank Length: 8.6 meters
Tank Volume: 25 cubic meters
Tank contains liquid
Internal Storage Temperature: 10° C
Chemical Mass in Tank: 13.5 tons Tank is 95% full
Percentage of Tank Mass in Fireball: 100%
Fireball Diameter: 134 meters Burn Duration: 9 seconds

THREAT ZONE:

Threat Modeled: Thermal radiation from fireball
Red : 318 meters --- (10.0 kW/(sq m) = potentially lethal within 60 sec)
Orange: 449 meters --- (5.0 kW/(sq m) = 2nd degree burns within 60 sec)
Yellow: 700 meters --- (2.0 kW/(sq m) = pain within 60 sec)



| SITE DATA:

Location: MSTETICE, CZECH REPUBLIC
Building Air Exchanges Per Hour: 0.54 (sheltered single storied)
Time: March 29, 2015 1729 hours ST (user specified)

CHEMICAL DATA:

Chemical Name: PROPANE Molecular Weight: 44.10 g/mol
AEGL-1 (60 min): 5500 ppm AEGL-2 (60 min): 17000 ppm AEGL-3 (60 min): 33000 ppm
IDLH: 2100 ppm LEL: 21000 ppm UEL: 95000 ppm
Ambient Boiling Point: -42.7° C
Vapor Pressure at Ambient Temperature: greater than 1 atm
Ambient Saturation Concentration: 1,000,000 ppm or 100.0%

ATMOSPHERIC DATA: (MANUAL INPUT OF DATA)

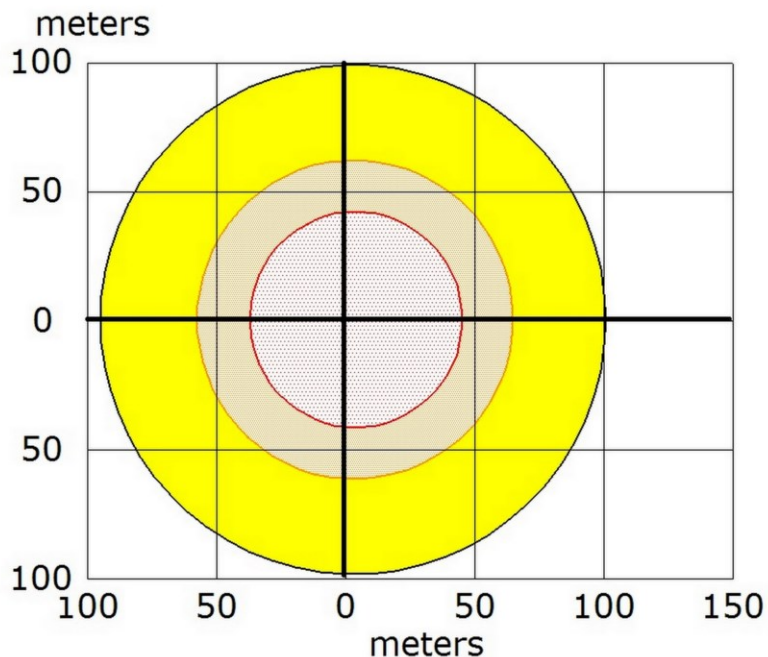
Wind: 3 meters/second from 360° true at 3 meters
Ground Roughness: urban or forest Cloud Cover: 5 tenths
Air Temperature: 10° C Stability Class: D
No Inversion Height Relative Humidity: 50%




SOURCE STRENGTH:

Leak from hole in horizontal cylindrical tank
Flammable chemical is burning as it escapes from tank
Tank Diameter: 1.92 meters Tank Length: 8.6 meters
Tank Volume: 25 cubic meters
Tank contains liquid Internal Temperature: 10° C
Chemical Mass in Tank: 13.5 tons Tank is 95% full
Circular Opening Diameter: 5 centimeters
Opening is 0 meters from tank bottom
Max Flame Length: 28 meters Burn Duration: 8 minutes
Max Burn Rate: 1,710 kilograms/min
Total Amount Burned: 12,247 kilograms
Note: The chemical escaped from the tank and burned as a jet fire.

THREAT ZONE:

Threat Modeled: Thermal radiation from jet fire
Red : 46 meters --- (10.0 kW/(sq m) = potentially lethal within 60 sec)
Orange: 65 meters --- (5.0 kW/(sq m) = 2nd degree burns within 60 sec)
Yellow: 101 meters --- (2.0 kW/(sq m) = pain within 60 sec)



-  greater than 10.0 kW/(sq m) (potentially lethal within 60 sec)
-  greater than 5.0 kW/(sq m) (2nd degree burns within 60 sec)
-  greater than 2.0 kW/(sq m) (pain within 60 sec)